



TUGAS AKHIR – TM141585

**ANALISIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN
*POSITIVE ACTIVE MASS DEGRADATION LEAD-
ACID BATTERY* BERDASARKAN KOMPOSISI
SENYAWA KIMIA PADA PASTA POSITIF
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

RIAN SEPTIAN SIDIQ
NRP. 2112 100 146

Dosen Pembimbing:
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

PROGRAM SARJANA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



FINAL PROJECT – TM141585

**LEAD-ACID BATTERY FAILURE INVESTIGATION
OF POSITIVE ACTIVE MASS DEGRADATION
BASED ON POSITIVE PLATE CHEMICAL
COMPOUNDS COMPOSITION
(AT PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

RIAN SEPTIAN SIDIQ
NRP. 2112 100 146

Advisory Lecturer
Ir. WITANTYO, M.Eng.Sc

BACHELOR PROGRAM
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017

**ANALISIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN
POSITIVE ACTIVE MASS DEGRADATION LEAD-
ACID BATTERY BERDASARKAN KOMPOSISI
SENYAWA KIMIA PADA PASTA POSITIF
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIAN SEPTIAN SIDIQ

Nrp. 2112 100 146

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Witantyo, M.Eng.Sc.....(Pembimbing I)
2. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D.....(Penguji I)
3. Ari Kurniawan Saputra, ST, MT.....(Penguji II)
4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc.....(Penguji III)

**SURABAYA
Januari 2017**

**ANALISIS PENYEBAB DAN PENCEGAHAN
POSITIVE ACTIVE MASS DEGRADATION LEAD-
ACID BATTERY BERDASARKAN KOMPOSISI
SENYAWA KIMIA PADA PASTA POSITIF
(STUDI KASUS PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

Nama Mahasiswa	: Rian Septian Sidiq
NRP	: 2112100146
Jurusan	: Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing	: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstrak

Positive active mass degradation merupakan penyebab utama kegagalan pada aki. Penelitian ini akan difokuskan terhadap komposisi senyawa kimia massa aktif positif pada pasta aki, dengan tujuan dapat mencegah atau memperlambat terjadinya *positive active mass degradation*.

Penelitian ini diawali dengan studi lapangan dan identifikasi permasalahan yang ada, mempelajari struktur dan reaksi pada aki, proses produksi aki di PT. Indobatt, dan melihat contoh-contoh bentuk kegagalan yang diakibatkan oleh *positive active mass degradation* pada aki. Dilanjutkan dengan mengumpulkan data historis dari aki yang akan diteliti. Data-data tersebut dapat berupa dugaan awal penyebab terjadinya *positive active mass degradation* dan juga data historis dalam proses pembentukan pasta yang terdiri dari beberapa senyawa kimia. Investigasi kerusakan menggunakan pengujian *endurance* pada aki, SEM dan XRD. Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui perubahan morfologi pada permukaan *grid* dan massa aktif, sementara pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui fasa dan struktur kristal *grid* dan massa aktif dari sampel plat aki. Setelah melakukan pengujian, dilakukan analisis data dan pembahasan dari hasil pengujian yang telah dilakukan, yang kemudian dapat diambil kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa degradasi massa aktif positif terjadi karena perubahan ukuran kristal dari massa aktif positif. Komposisi fasa kristal pada pasta yang memiliki *life cycle* paling lama yaitu pasta dengan komposisi pasta kristal 4BS, sementara plat positif aki yang diproduksi PT. Indobatt terbentuk dari pasta 3BS dan 1BS. Dalam proses persiapan pasta aki PT. Indobatt perlu mengubah rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ dalam %wt, dari 10% menjadi 5-6%. Jumlah dari volume H_2O dan H_2SO_4 perlu diturunkan sampai minimal 150mL per kg LO dalam rangka menaikkan *density* pasta. Temperatur proses persiapan pasta perlu ditingkatkan dari 65-70 °C menjadi 80-90 °C.

Kata kunci : *Lead-Acid Battery, Aki, Pt. Indobatt, Positive Active Mass Degradation, Pasta, Senyawa Kimia, SEM, XRD*

**LEAD-ACID BATTERY FAILURE INVESTIGATION
OF POSITIVE ACTIVE MASS DEGRADATION
BASED ON POSITIVE PLATE CHEMICAL
COMPOUNDS COMPOSITION
(AT PT. INDOBATT INDUSTRI PERMAI)**

Student Name	: Rian Septian Sidiq
NRP	: 2112100146
Departement	: Teknik Mesin FTI-ITS
Student Advisor	: Ir. Witantyo, M.Eng.Sc

Abstract

This study was conducted to analyze the causes of failure that occurred in lead-acid battery caused by positive active mass degradation. Analysis the cause of failure in this research will be focused on the composition of chemical compounds on the battery positive paste, with the aim of knowing the causes of positive active mass degradation and can provide a solution in preventing or delaying the occurrence of positive active mass degradation. This research was conducted by testing XRD, SEM and life cycle on the lead-acid battery produced by PT. Indobatt.

This research begins with field studies and identification of existing problems, by studying the structure and the reaction of lead-acid battery, the battery production process at PT. Indobatt, and saw the examples of failures caused by the positive active mass degradation of the lead-acid battery. Followed by collecting historical data from the battery to be studied. These data can be an initial assumption of the cause of positive active mass degradation and also historical data in the process of forming a paste consisting of several chemical compounds. Damage investigation in this research was using endurance testing on lead-acid battery, SEM and XRD. The SEM test was performed to determine the morphological changes on the grid surface and the active mass, while XRD testing was performed to determine the phase as well as grid crystal structure and the active mass of the battery plate

sample. After conducting the test, conducted data analysis and discussion of test results that have been done, which can be drawn conclusions and recommendations from the results of research.

The results of this study shown that positive active mass degradation occurs due to changes in crystal size of the active positive mass. The crystalline phase composition of the paste having the longest life cycle is a paste with 4BS crystalline composition, while the positive plate paste of the battery produced by PT. Indobatt have a crystal compositions of 62.9% 3BS, 35% tet-PbO, and 2.1% 4BS. Paste preparation of PT. Indobatt needs to change the ratio of $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ in% wt, from 10% to 5-6%, and change the temperature of the paste preparation process from 65 °C to 80-90 °C in due to form a 4BS crystalline phase. The sum of the volume of H_2O and H_2SO_4 needs to be lowered to a minimum of 150mL per kg LO in order to increase the density of the paste.

Keywords : Lead-Acid Battery, Pt. Indobatt, Positive Active Mass Degradation, Paste, Chemical Compounds, SEM, XRD

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, karena dengan karuniaNya penulisan Yugas Akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam senantiasa juga kami curahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas akhir ini merupakan persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin FTI ITS. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, Agus Salim dan Lilis Nurhayat yang selalu memberikan doa dan dukungan yang begitu besar.
2. Bapak Ir. Witantyo, M.Eng.Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Ari Kurniawan, ST., MT., Bapak Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc., dan Bapak Suwarno, ST., M.Sc., PhD selaku dosen penguji.
4. Bapak Bahtiar dan Bapak Dedi selaku pihak Laboratorium PT. Indobatt yang telah membimbing dan membantu dalam pengambilan data.
5. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik mesin yang telah membantu penulis atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan.
6. Hergina Triandani yang selalu bersedia memberikan motivasi dan mendengarkan curahan hati penulis.
7. Moses H Parapat, sebagai rekan tugas akhir di PT. Indobatt, Azis, Lintang, David, Gunawan, Mawan yang berjuang bersama di Laboratorium Rekayasa Sistem Industri dan teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 (M55) yang telah berbagi pengalaman selama di bangku perkuliahan.

Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan maka penulis bersedia menerima kritik dan saran untuk penelitian yang lebih baik.

Surabaya 16 Januari 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	vii
<i>Abstract</i>	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Dasar Teori	7
2.1.1 Proses Produksi Aki di PT. Indobatt	7
2.1.2 Jenis-jenis Aki	8
2.1.3 Struktur dan Reaksi pada Aki.....	10
2.1.4 <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Aki	18
2.1.5 Senyawa <i>Lead</i> dalam Produksi Aki.....	20
2.1.6 Positive Active Mass Degradation	22
2.1.7 Investigasi Kerusakan (<i>Failure Investigation</i>)	24

2.1.8	<i>Process Aalysis, Mapping, dan Flowcharts</i>	25
2.1.9	<i>Why Analysis</i>	25
2.2	Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		28
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada.....	29
3.3	Pengumpulan Data Historis Aki PT. Indobatt	29
3.4	Studi Literatur	29
3.5	Investigasi Kerusakan	30
3.5.1	Peralatan dan Bahan yang Digunakan	32
3.5.2	Pengujian SEM.....	32
3.5.3	Pengujian XRD.....	34
3.5.4	Pengujian <i>Endurance</i>	35
3.6	Analisis Data dan Pembahasan	36
3.7	Diskusi Penyebab Kerusakan.....	36
3.8	Kesimpulan dan Saran	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		39
4.1	<i>History Report</i> dan Persiapan Pasta di PT. Indobatt....	39
4.1.1	Foto-foto Degradasi Massa Aktif Positif.....	39
4.1.2	Data Komplain Konsumen	40
4.1.3	<i>Persiapan Pasta</i> di PT. Indobatt	42
4.2	Posibilitas Penyebab Kegagalan	43
4.3	Analisis Properti Pasta Aki PT. Indobatt	44

4.3.1	Pengujian XRD.....	44
4.3.2	Pengujian SEM.....	48
4.3.3	Pengujian <i>Endurance</i>	52
4.4	Hasil Analisis	55
BAB V SOLUSI HASIL PENELITIAN.....		57
5.1	Meningkatkan Rasio Perbandingan H_2SO_4 dengan <i>Leady Oxide</i> (% wt)	57
5.2	Meningkatkan <i>Density</i> Pasta Berdasarkan Jumlah Kandungan Air.....	58
5.3	Mengubah Komposisi Fasa Kristal pada Pasta Massa Aktif Positif.....	60
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		65
6.1	Kesimpulan	65
6.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA.....		67

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Jumlah Pertumbuhan Kedaraan di Indonesia [1]	2
Gambar 1. 2 Penyebab Kerusakan Aki PT. Indobatt yang Menjadi Komplain Konsumen Tahun 2016 [1].....	3
Gambar 1. 3 Kerusakan Plat Aki 65D23L VOLCANO [1]	4
Gambar 1. 4 Degradasi Massa Aktif Positif pada Plat Aki NS60L NEO [1]	5
Gambar 2. 1 Struktur pada Aki [6]	10
Gambar 2. 2 Struktur pada <i>Cell</i> Aki [6].....	11
Gambar 2. 3 Struktur <i>Cell</i> Aki dengan NAM (Massa Aktif Negatif) dan PAM (Massa Aktif Positif) [6]	12
Gambar 2. 4 Diagram Kondisi saat <i>Discharging</i> Aki [7]	13
Gambar 2. 5 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat <i>Discharging</i> Aki [6]	14
Gambar 2. 6 Skema dari Struktur Dasar Massa Aktif Positif [6]	15
Gambar 2. 7 Tampak Atas dari Massa Aktif Negatif (a) Tingkat <i>Discharge</i> Rendah (b) Tingkat <i>Discharge</i> Tinggi [6]	16
Gambar 2. 8 Diagram <i>Cell</i> Aki dalam Kondisi <i>Discharge</i> [7] ..	17
Gambar 2. 9 Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding <i>Discharge</i> [6].....	18
Gambar 2. 10 Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi <i>Charge</i> dengan Arus Konstan [6].....	19
Gambar 2. 11 Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [6].....	20
Gambar 2. 12 <i>Unit cell</i> (a) α -PbO ₂ (b) β -PbO ₂	21
Gambar 2. 13 Massa Aktif Positif menggunakan SEM dimana: (a) aki baru (α dan β), (b) setelah discharge berulang-ulang (β saja) [6].....	23
Gambar 2. 14 Kurva Beda Potensial Aki terhadap Waktu Pemakaian berdasarkan Jumlah Siklus Pemakaian (atas) Pb-Ca <i>grid</i> (bawah) Pb-Sb <i>grid</i> [3]	26

Gambar 2. 15 Perubahan Kapasitas pada Plat Positif dengan pasta $3\text{PbO.PbSO}_4.\text{H}_2\text{O}$ dan pasta 4PbO.PbSO_4 [3]	27
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. 2 Grid dan Massa Aktif Positif Plat CDV aki PT. Indobatt.....	32
Gambar 3. 3 Alat Uji SEM	33
Gambar 3. 4 Alat Uji XRD	34
Gambar 3. 5 UBT Digatron	35
Gambar 4. 1 Degradasi Massa Aktif Positif pada Aki Tipe (a) NS60S NEO (b) NS40Z NGS	40
Gambar 4. 2 <i>Form</i> Komplain Kerusakan Aki 26 Desember 2016.....	41
Gambar 4. 3 Aki NS60 NEO	41
Gambar 4. 4 Degradasi Massa Aktif pada Plat Positif Aki NS60 NEO.....	42
Gambar 4. 5 <i>X-Ray Diffraction Pattern</i> Massa Aktif Positif.....	45
Gambar 4. 6 Komposisi Fasa pada Pasta Fungsi Temperatur [9]	47
Gambar 4. 7 Hasil SEM-EDAX Massa Aktif Positif Sebelum Aki Digunakan	48
Gambar 4. 8 Hasil Uji SEM Massa Aktif Positif Sebelum Aki Digunakan	49
Gambar 4. 9 Hasil SEM-EDAX Massa Aktif Positif Setelah Aki Digunakan Selama 4 Bulan	50
Gambar 4. 10 Hasil Uji SEM Massa Aktif Positif Setelah Aki Digunakan Selama 4 Bulan	51
Gambar 4. 11 Bentuk Degradasi Massa Aktif Positif yang Terjadi Setelah Uji <i>Endurance</i> (a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Degradasi Massa Aktif pada Plat Positif	53
Gambar 4. 12 Grafik Kapasitas terhadap Jumlah <i>Cycle</i> pada Aki (a) 30oC (b) 80oC [11]	54

Gambar 5. 1 Hubungan Antara Intensitas Relatif dari Garis Difraksi pada Fasa Kristal yang Berbeda Terhadap rasio H_2SO_4/LO [12]	57
Gambar 5. 2 Density Pasta vs Jumlah Kandungan H_2SO_4 per kg Lead Oxide [11]	59
Gambar 5. 3 Hasil SEM (a) Kristal 3BS (b) Kristal 4BS [14] ...	61
Gambar 5. 4 Komposisi Fasa pada Tiga Pasta 4BS (a) 70oC (b) 80oC (c) 90oC [13]	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia pada Pasta Aki PT. Indobatt [1]	5
Tabel 4. 1 Standar Proses Mixer	43
Tabel 4. 2 <i>Peak List</i>	45
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian <i>Endurance</i>	52

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

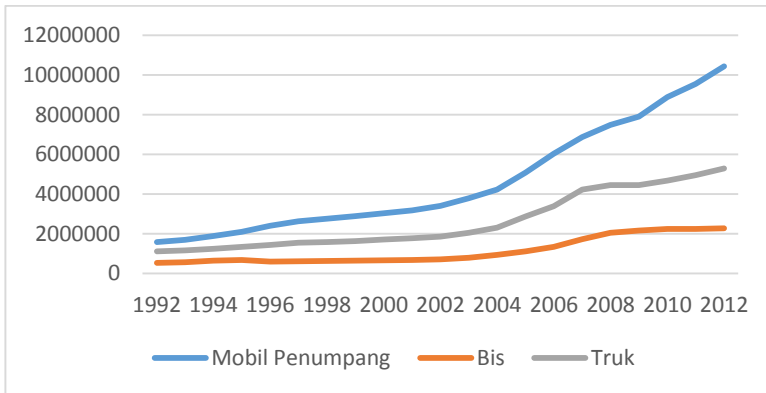
1.1 Latar Belakang

Ditemukan pada tahun 1859 oleh seorang ilmuwan fisika dari Prancis, Gaston Planté, aki merupakan baterai dengan desain konvensional dan baterai isi ulang yang paling banyak digunakan saat ini. Aki adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Pertumbuhan teknologi pada aki mendukung semakin bertambahnya aplikasi yang dapat diterapkan menggunakan aki. Aplikasi utama dari aki adalah: baterai untuk *starting* kendaraan bermotor, baterai pencahayaan dan pengapian (baterai SLI), baterai penggerak, dan baterai penyimpan energi. Aki merupakan salah satu komponen pendukung dalam kendaraan bermotor. Aki juga berfungsi sebagai komponen pencatu daya dalam kendaraan bermotor.

Aplikasi penggunaan aki dalam sistem kendaraan sudah diterapkan ketika kendaraan mulai populer pada tahun 1900an. Penerapan baterai elektrik ini dapat menggantikan penggunaan mesin dengan sistem *hand-crank engines*. Tiga puluh tahun setelah itu, aki menjadi salah satu komponen utama dalam sistem kendaraan yang memiliki fungsi *starter engine*, *ignition*, dan pencahayaan kendaraan. Sebelumnya, *belt* dari generator DC digunakan untuk mengisi baterai dan suplai daya ke *electric loads* saat mesin beroperasi. [6]

Perkembangan industri otomotif semakin meningkat, hal ini mempengaruhi perkembangan industri komponen pendukung seperti industri aki sebagai komponen pencatu daya pada kendaraan bermotor. Meningkatnya perubahan iklim global dan perkembangan teknologi, mendukung penemuan baru dalam aplikasi penyimpanan energi oleh aki, seperti : transportasi elektrik, energi yang dapat diperbaharui seperti *photovoltaic* dan pembangkit listrik tenaga angin, suplai energi cadangan pada saat kondisi darurat. Dalam beberapa kasus, aplikasi baru dari aki membutuhkan cara baru dalam mengisi daya aki. Faktor ekonomi

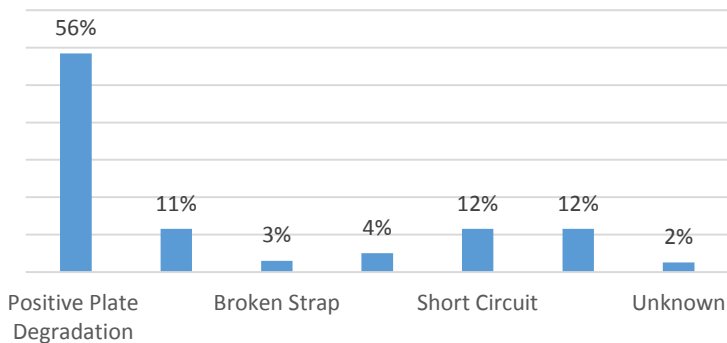
juga yang membuat dibutuhkannya pengertian yang mendalam dalam memperpanjang umur dari aki.



Gambar 1. 1 Jumlah Pertumbuhan Kedararaan di Indonesia [1]

Seiring berjalannya waktu, pengguna kendaraan bermotor semakin meningkat dari tahun ke tahun, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 yaitu jumlah pertumbuhan kendaraan di Indonesia, hal ini membuat kebutuhan komponen-komponen pendukung pada sebuah kendaraan pun semakin banyak diproduksi, dimana salah satunya adalah aki. Peningkatan permintaan kendaraan bermotor di Indonesia menuntut industri otomotif untuk lebih meningkatkan produksi komponen-komponen yang mendukung dari kendaraan tersebut. Permintaan yang terus meningkat ini memacu perusahaan jasa dan manufaktur terus menerus meningkatkan hasil produksinya, baik dalam hal kualitas maupun dalam hal pelayanan terhadap konsumen. Hal tersebut dilakukan agar konsumen tetap setia terhadap produk yang dibuat oleh perusahaan tersebut. Maka dari itu perusahaan manufaktur khususnya harus mampu memberikan jaminan kepada konsumen untuk meyakinkan bahwa produk yang dihasilkannya adalah produk yang berkualitas tinggi dengan harga yang relatif rendah dibandingkan dengan produk perusahaan lain yang sejenis.

Dalam proses pembuatan aki ini kegagalan produksi dapat diketahui dengan proses pengecekan disetiap alur proses produksinya, sehingga produk yang mengalami kegagalan akan di *reject* dan tidak di berikan ke konsumen. Namun ada juga kegagalan produksi yang tidak terdeteksi saat proses produksi aki ini, tapi baru diketahui setelah digunakan oleh konsumen dalam waktu tertentu, sehingga terdapat komplain dari para konsumen ke PT. Indobatt seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.2. Pada gambar tersebut dapat dilihat penyebab kerusakan aki yang menjadi komplain konsumen di tahun 2016. Terdapat 207 komplain yang dilaporkan ke PT. Indobatt atas kerusakan aki yang dialami oleh konsumen.



Gambar 1. 2 Penyebab Kerusakan Aki PT. Indobatt yang Menjadi Komplain Konsumen Tahun 2016 [1]

Kerusakan-kerusakan yang dialami aki bisa terjadi karena banyak faktor. Kerusakan bisa terjadi karena kesalahan cara produksi atau kesalahan cara penggunaan, seperti saat *charging* aki atau saat *discharging* aki. Proses *charging* yang tidak sesuai dapat menimbulkan kegagalan yang mengakibatkan berkurangnya umur hidup dari aki tersebut. Penelitian proses penuaan aki pun sudah banyak dilakukan. Faktor-faktor yang ditemukan dalam penelitian tersebut adalah penafsiran dari evolusi hidrogen dan oksigen dalam kondisi *open-circuit*, dan *stratification* dari konsentrasi zat asam

oleh difusi potensial. Faktor utama yang menyebabkan penuaan aki adalah : korosi anoda (pada *grid* dan plat), *positive active mass degradation* (degradasi massa aktif positif), kristalisasi dari timbal sulfat, *short-circuit* (arus pendek), dan kehilangan sejumlah air pada cairan elektrolit.

Pada penelitian ini akan difokuskan dalam mencari penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif yang dipengaruhi oleh komposisi senyawa kimia pada massa aktif aki di PT. Indobatt. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.2, degradasi massa aktif positif memiliki jumlah komplain tertinggi pada tahun 2016. Gambar 1.3 menunjukkan contoh kerusakan aki yang diakibatkan oleh degradasi massa aktif positif pada aki mobil yang sudah dipakai selama lima bulan. Degradasi massa aktif positif bisa disebabkan oleh beberapa faktor dan hanya terjadi pada plat positif seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.4. Pada gambar tersebut dapat dilihat massa aktif pada plat negatif tidak mengalami degradasi, sementara pada plat positif massa aktifnya mengalami degradasi.



Gambar 1. 3 Kerusakan Plat Aki 65D23L VOLCANO [1]



Gambar 1. 4 Degradasi Massa Aktif Positif pada Plat Aki NS60L NEO [1]

Dalam menanggapi permasalahan ini, penelitian akan dilakukan terhadap proses produksi aki di PT. Indobatt yang meliputi proses persiapan pembuatan pasta. Proses pembuatan pasta dilakukan dengan *mixing* oleh *mixer machine*. Komposisi senyawa kimia yang digunakan PT. Indobatt dalam pembentukan pasta dapat dilihat pada tabel 1.1. Pasta yang sudah dicampur akan dilakukan pengecekan *appearance density* dan penetrasi, temperatur akhir, temperature maksimal, dan jumlah kandungan air pada pasta. Pasta yang sudah teruji kualitasnya akan disatukan dengan plat dalam proses *pasting*. [1]

Tabel 1. 1 Komposisi Kimia pada Pasta Aki PT. Indobatt [1]

Positif	Negatif
<i>Lead Powder</i>	<i>Lead Powder</i>
<i>Fiber</i>	<i>Fiber</i>
H_2O	H_2O
H_2SO_4	H_2SO_4
	$BaSO_4$
	<i>Stearic Acid</i>

Penelitian ini akan mencari tahu penyebab terjadinya degradasi dari massa aktif positif dan melakukan solusi untuk mencegah terjadinya degradasi massa aktif positif pada aki yang diproduksi oleh PT. Indobatt.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi objek penelitian ini adalah mencari penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif berdasarkan komposisi senyawa kimia pada pasta dan mencari metode untuk mencegah atau menghambat terjadinya degradasi massa aktif positif pada plat aki yang diproduksi oleh PT. Indobatt.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah sebagai berikut:

- Peralatan yang diteliti adalah aki PT. Indobatt NS60 NEO.
- Data yang diteliti adalah data *history* dari proses produksi aki di PT. Indobatt dan percobaan yang dilakukan di lab.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan-tujuan sebagai berikut:

- Mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya degradasi massa aktif positif pada plat aki.
- Menemukan solusi yang mampu mencegah atau memperlambat terjadinya degradasi massa aktif positif berdasarkan paduan senyawa kimia pada pasta massa aktif.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Dapat mengetahui faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya degradasi massa aktif positif pada plat aki.
- Dapat memberikan solusi pada proses produksi aki di PT. Indobatt agar massa aktif positif pada plat aki tidak terdegradasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan, prosedur dan langkah-langkah dalam melakukan penelitian sehingga permasalahan yang diangkat dapat terselesaikan dengan baik. Adapun dasar teori dan tinjauan pustaka yang digunakan adalah berdasarkan permasalahan pada proses produksi aki PT Indobatt.

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Proses Produksi Aki di PT. Indobatt

PT. Indobatt adalah sebuah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi aki sebagai salah satu komponen kendaraan. Untuk memenuhi permintaan dan kepuasan konsumen, perusahaan ini selalu meningkatkan produksinya. Proses pembuatan aki di PT. Indobatt terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan yang harus diproses dimulai dari *casting*, *pasting*, *curing*, *formation*, *cutting* dan *assembly*.

Casting merupakan salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan ke dalam tungku peleburan, kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk cor yang akan diproduksi. Proses *casting* pada produksi plat meliputi pemindahan material Pb ke area *casting*, lalu memasukan material Pb ke tungku cair dan setelah itu akan diproses oleh mesin *casting* secara otomatis. Plat yang sudah jadi akan disatukan dengan pasta yang sudah mengalami *mixing* dari beberapa komponen, proses ini dinamakan proses *pasting*. Plat berpasta yang sudah jadi akan memasuki mesin oven untuk dikeringkan. Setelah itu, plat akan disortir apabila terdapat plat yang rusak. Plat yang tidak rusak akan dikirim ke area proses *formation*. *Formation* merupakan proses dimana plat dialiri oleh arus listrik sebagai proses *charging*. Proses *charging* dilakukan pada *formation tank* dengan alat penghasil listrik *rectifier*. Proses awal dari *formation* yaitu dengan memasukan plat positif terlebih

dahulu, lalu plat negatif. Setelah itu dimasukan sisir plat agar plat negatif dan plat positif tidak menempel saat proses *formation* karena hal tersebut dapat menyebabkan *defect*.

Setelah melalui proses *formation*, plat akan dicuci dengan direndam secara terpisah antara plat positif dengan plat negatif. Plat direndam air murni sampai parameter yang berbeda antar positif dan negatif. Parameter yang dipakai adalah pH air itu sendiri, 7 untuk plat positif dan 4,5 untuk plat negatif. Selanjutnya plat akan diproses pada area *Inner Gas*. Pada area ini plat akan dikeringkan dengan mesin oven yang berbeda antara plat positif dan plat negatif. Untuk plat positif menggunakan mesin inner gas oven, sedangkan plat negatif menggunakan mesin perfect oven. Proses selanjutnya adalah proses *cutting* dan *brushing*, *cutting* adalah proses pemotongan plat menjadi bagian yang lebih kecil, sedangkan *brushing* merupakan proses pembersihan plat agar plat menjadi lebih halus.

Setelah pembuatan plat selesai, proses selanjutnya adalah *enveloping* dan *grouping*. Proses *enveloping* merupakan proses merangkai plat dengan separator, sedangkan *grouping* merupakan perangkaian plat di *box* bersama *connector*, terminal, *pole*, dan *cover*. Plat positif dimasukan kedalam *separator* yang menyerupai amplop. Setelah itu plat yang sudah dipisah oleh separator dirangkai dengan *box* di dalam aki. Rangkaian yang sudah fix kemudian di *welding* menggunakan timah. Selanjutnya *cover* ditutup untuk *finishing* setelah semua dilakukan pengecekan. Proses terakhir adalah *assembling*, dimana semua komponen dirakit dan dilakukan pengecekan kelayakan produk untuk dijual atau mengalami *reject*. Alur dari *assembly* terdiri dari *polarity test*, *welder*, *strength test*, *heat seal*, *welder pole*, *marking*, *assembling and lubrication*, *packing* dan *plastic cover*. [1]

2.1.2 Jenis-jenis Aki

Aki banyak sekali jenisnya seiring banyaknya penemuan-penemuan baru baik dari jenis bahan kimianya maupun konstruksinya, sehingga penggunaannya pun berbeda-beda.

Berdasarkan besar arus yang dihasilkan, ada dua macam jenis aki, yaitu:

- a. Aki *starting*, merupakan jenis aki yang dirancang mampu menghasilkan energi (arus listrik) yang tinggi dalam waktu singkat sehingga dapat menyalakan mesin seperti mesin kendaraan. Dengan kata lain untuk menghidupkan mesin dibutuhkan arus listrik yang tinggi. Setelah mesin hidup, aki istirahat dan diisi kembali oleh *alternator*.
- b. Aki *deep cycle*, aki ini dirancang untuk menghasilkan energi (arus listrik) yang stabil (tidak sebesar aki *starting*) namun dalam waktu yang lama. Aki jenis ini tahan terhadap siklus *charge-discharge* aki yang berulang-ulang, karenanya konstruksinya menggunakan plat yang lebih tebal. Aki ini digunakan pada peralatan yang menggunakan motor listrik seperti kursi roda, *forklift*, mobil golf dan pada proyek energi alternatif seperti pembangkit listrik tenaga surya.

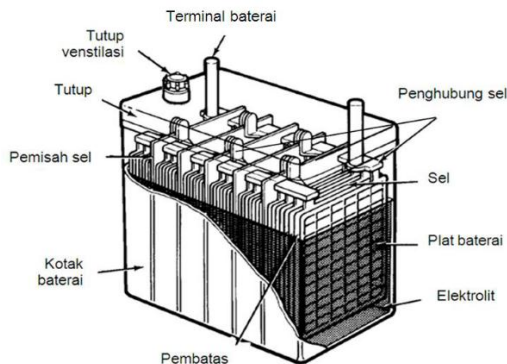
Berdasarkan volume elektrolitnya, aki dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- a. *Flooded*, jenis ini disebut juga *wet cell*. Aki ini dikenal dengan aki basah, maksudnya sel-sel didalam aki harus terendam cairan elektrolit dan jika level cairannya kurang, harus ditambah. Ciri-cirinya setiap sel ada katup *charge* cairan elektrolitnya.
- b. *Valve-regulated lead-acid* (VRLA), aki ini disebut juga aki *maintenance free*. Didesain agar cairan elektrolit tidak berkurang karena bocor atau penguapan. Aki jenis ini memiliki katup ventilasi yang hanya terbuka saat tekanan tinggi untuk pembuangan gas hasil reaksi kimianya. Tidak memiliki katup untuk isi ulang cairan elektrolitnya maka dari itu dikenal dengan bebas perawatan. Aki jenis VRLA dibagi menjadi dua berdasarkan konstruksi internalnya. Yang pertama adalah jenis *Gel Cells* dimana cairan elektrolitnya dicampur dengan pasir silica sehingga cairan menjadi kental seperti agar-agar. Yang kedua adalah

Absorbent Glass Mat (AGM) yang memiliki *separator* dari *fiberglass* yang diletakkan diantara plat-plat selnya yang bertujuan untuk menyerap cairan elektrolit agar tersimpan di pori-pori *fiberglass*. [1]

2.1.3 Struktur dan Reaksi pada Aki

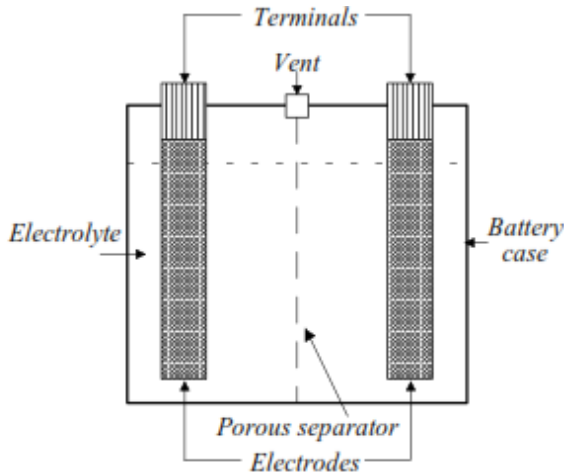
Istilah akumulator berasal dari istilah asing “*Accumuleren*” yang mempunyai arti mengumpulkan atau menyimpan. Akumulator (aki) adalah sebuah alat yang dapat menyimpan energi (umumnya energi listrik) dalam bentuk energi kimia. Struktur pada aki dapat dilihat pada gambar 2.1. Gambar tersebut menunjukkan suatu sistem tersebut terdiri dari dua komponen utama yaitu elektrolit dan elektroda. Sistem ini disebut *cell*, dan setiap *cell* memiliki beda potensial sebesar 2 Volts. Aki yang paling banyak digunakan memiliki 3 atau 6 *cell*, untuk membentuk 6 atau 12 volts. Elektrolit pada aki adalah cairan asam sulfat (H_2SO_4), dan dua elektroda pada aki adalah timbal dioksida (PbO_2) dan Timbal (Pb). PbO_2 sebagai elektroda positif dan Pb sebagai elektroda negatif.



Gambar 2. 1 Struktur pada Aki [6]

Diantara dua elektroda tersebut, ada sebuah lapisan penyekat berupa isolator yang berfungsi untuk mencegah tercadinya arus-pendek antar elektroda dan memberikan jalur yang

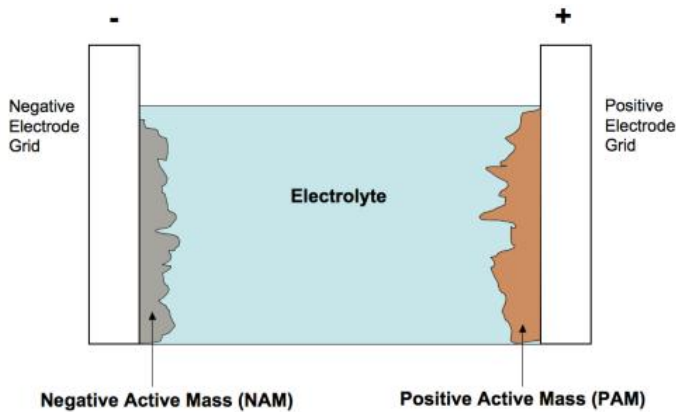
baik untuk pertukaran ion pada elektroda. Pada saat *charge* dan *discharge* aki, reaksi dari aki menghasilkan gas juga. Dalam rangka mencegah terjadinya tekanan yang tinggi didalam aki, terdapat lubang kecil yang berfungsi sebagai ventilasi keluar dari gas hasil reaksi.



Gambar 2. 2 Struktur pada *Cell* Aki [6]

Cell aki menyimpan energi elektrokimia pada massa aktif yang di lekatkan kepada plat elektroda positif dan negatif . Massa aktif dan massa negatif memiliki komposisi kimia yang berbeda. Struktur *cell* yang sudah dilekatkan massa aktif positif dan negatif yang biasa digunakan dapat dilihat pada gambar 2.2.

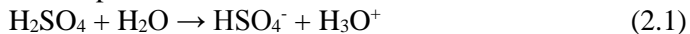
Ketika sirkuit eksternal disambungkan ke kedua elektroda, elektron akan berpindah dari massa aktif yang satu ke massa aktif yang lain, dengan itu komposisi kimia nya pun akan berubah. Pada saat yang sama, elektrolit juga berpartisipasi dalam reaksi ini, dengan pergerakan ionnya antar massa aktif. Reaksi elektrokimia ini membuat aki dapat menghasilkan energi listrik untuk beban yang sudah disambungkan selama *discharge*, atau menerima energi listrik dari sumber listrik pada saat *charge*.



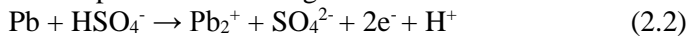
Gambar 2. 3 Struktur *Cell* Aki dengan NAM (Massa Aktif Negatif) dan PAM (Massa Aktif Positif) [6]

Reaksi kimia yang terjadi saat *discharge* adalah sebagai berikut [6] :

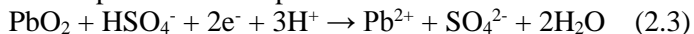
Reaksi pada elektrolit :



Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :

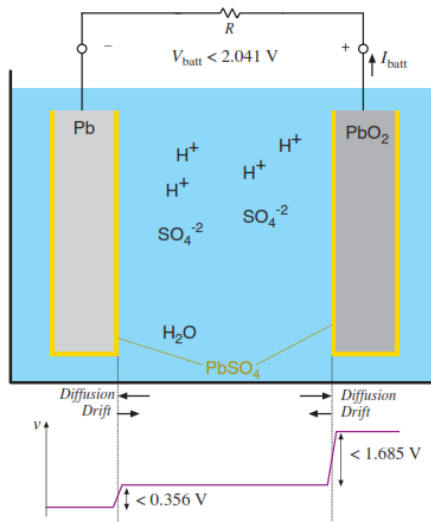


Reaksi keseluruhan :



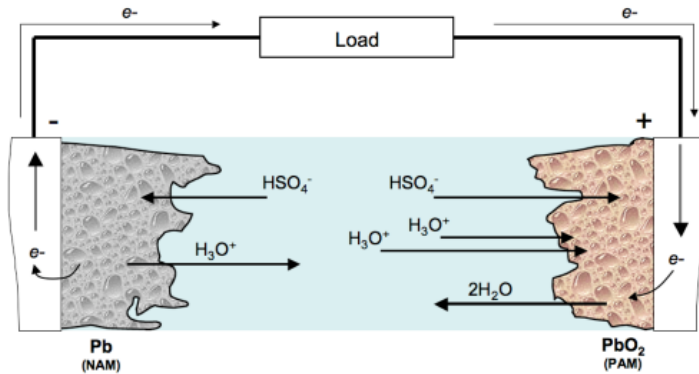
Reaksi pada persamaan 2.1 menunjukkan reaksi yang terjadi pada elektrolit cairan asam sulfat dan air selama aki dipakai. Air mampu memecah ion H^+ pada elektrolit, yang kemudian berubah menjadi H_3O^+ atau hidronium. Hidronium ini akan berfungsi sebagai pembawa ion H^+ , dimana terbentuk pada reaksi saat *charge* maupun *discharge* aki. Reaksi ini juga muncul pada reaksi yang terjadi di elektroda negatif (persamaan 2.2). Timbal murni

bereaksi dengan ion asam sulfat yang kemudian membentuk timbal sulfat (PbSO_4). Massa aktif negatif melepaskan elektron, dan bergerak melalui elektroda negatif, sambungan eksternal, lalu tiba di elektroda positif dimana elektron ini akan bereaksi dengan massa aktif positif dan elektrolit. Pada persamaan 2.3, massa aktif positif kombinasi dengan ion sulfat membentuk HSO_4^- , dan ion hidrogen yang berasal dari H_3O^+ dan elektron yang kemudian membentuk PbSO_4 dan air. Seluruh proses ini berawal dari reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda, dimana reaksi tersebut memicu perpindahan elektron, yang kemudian akan menghasilkan pengendapan timbal sulfat (PbSO_4).



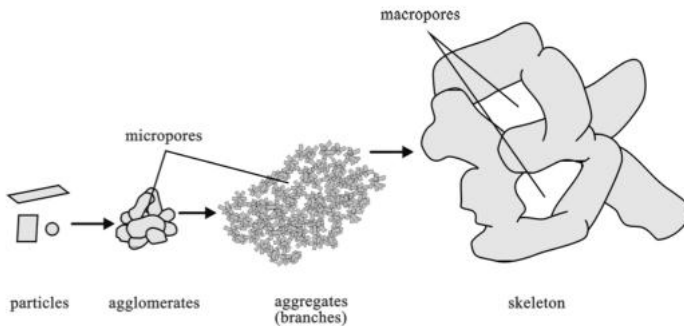
Gambar 2. 4 Diagram Kondisi saat *Discharging* Aki [7]

Secara keseluruhan, reaksi *discharge* aki membentuk PbSO_4 yang memiliki sifat tidak dapat menghantarkan listrik. PbSO_4 ini terbentuk pada kedua elektroda, membuat cairan elektrolit lebih encer daripada sebelumnya (terutama disekitar elektroda positif).



Gambar 2. 5 Diagram Perpindahan Ion dan Elektron saat *Discharging* Aki [6]

Reaksi dan pereaksi harus ada pada masing-masing permukaan massa aktif agar arus listrik dapat mengalir, hal ini sangat penting untuk diperhatikan dalam memahami sistem kerja dari aki. Dimana, kehadiran dari struktur morfologi dan kelekatan masa aktif kepada plat elektroda juga memiliki peran yang besar dalam perilaku elektrik aki. Massa aktif tidak hanya lapisan tipis yang melapisi plat elektroda, namun memiliki struktur yang lebih kompleks. Strukturnya memiliki poro dan ketebalan yang didesain oleh perusahaan manufaktur dengan komposisi yang tepat untuk produksi aki. Menambah ketebalan pada massa aktif ini akan menambah kapasitas dan *cycle-life* dari aki itu sendiri.

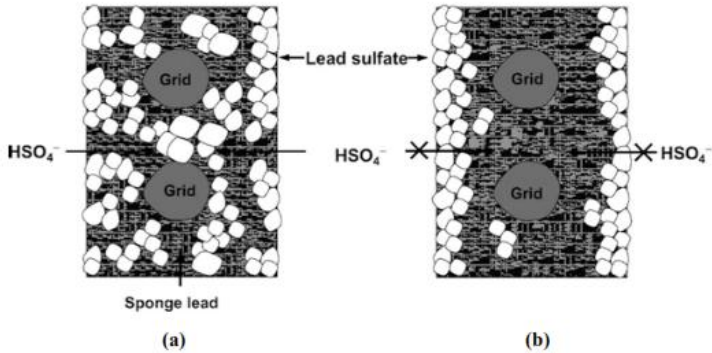


Gambar 2. 6 Skema dari Struktur Dasar Massa Aktif Positif [6]

Struktur dari massa aktif ini akan sangat mempengaruhi tingkat kapasitas dan daya tahan dari aki. Penambahan beberapa zat pada pasta timbal murni dan pasta timbal dioxida dapat meningkatkan daya hantar listrik dari massa aktif, serta meningkatkan efisiensi *charge* dan *discharge* aki.

Seperti yang dibahas sebelumnya, kapasitas dan daya tahan aki sangat dipengaruhi oleh cara *discharge* aki. Misalnya, semakin tinggi temperatur menyebabkan meningkatnya pergerakan dan perpindahan ion, dimana akan menimbulkan bertambah luasnya area permukaan yang bereaksi dan menyebabkan menurunnya daya tahan dari aki itu sendiri.

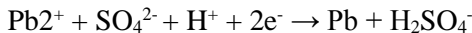
Tingkat arus listrik dari *discharge* aki pun mempengaruhi perilaku massa aktif. Tingginya arus *discharge* dapat menurunkan laju difusi dari HSO_4^- . Hal ini menyebabkan meningkatnya reaksi yang terjadi pada permukaan, dimana massa aktif kontak secara langsung dengan sejumlah besar elektrolit (gambar 2.7).



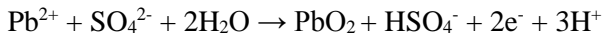
Gambar 2. 7 Tampak Atas dari Massa Aktif Negatif (a) Tingkat *Discharge* Rendah (b) Tingkat *Discharge* Tinggi [6]

Tidak seperti pada kondisi *discharge*, pada kondisi *charge* aki terdapat reaksi primer dan reaksi sekunder. Reaksi sekunder ini menggunakan sebagian besar arus yang didapatkan dari sumber, sementara tidak banyak berkontribusi dalam mengembalikan timbal sulfat menjadi timbal murni, hal ini mengurangi efisiensi dari *charge* aki. Reaksi kimia pada saat *charge* aki dapat dilihat pada persamaan dibawah ini. [6]

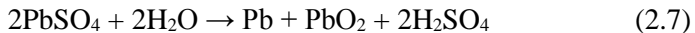
Reaksi pada elektroda negatif :



Reaksi pada elektroda positif :



Reaksi keseluruhan :



Evolusi oksigen pada elektroda positif :



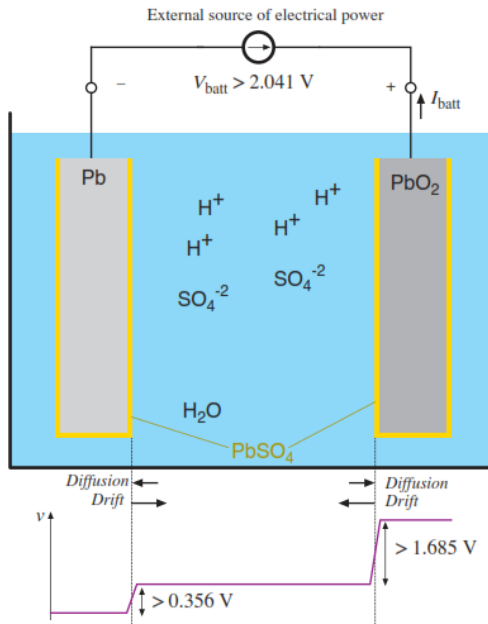
Kombinasi oksigen pada elektroda negatif :



Evolusi hidrogen pada elektroda negatif :



Reaksi *charge* ini terjadi pada masa aktif positif dan negatif. Persamaan 2.5 dan 2.6 merupakan kebalikan dari persamaan reaksi yang terjadi pada saat *discharge* aki (persamaan 2.3 dan 2.2). Dimulai dari penguraian timbal sulfat menjadi ion-ion timbal dan sulfat. Pada masa aktif positif, ion ini bereaksi dengan molekul dari air untuk membentuk timbal oksida dan asam sulfat. Pada saat proses ini terjadi, terbentuk dua elektron yang berpindah menuju massa aktif negatif timbal sulfat, melalui eksternal sirkuit.



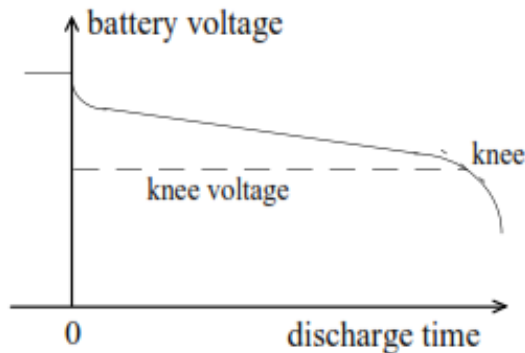
Gambar 2. 8 Diagram *Cell* Aki dalam Kondisi *Discharge* [7]

Kombinasi oksigen pada elektroda negatif yang membuat aki jenis VRLA menjadi “*maintenance free*” tidak seperti *flooded* aki dimana ventilasi membuang gas oksigen dan hidrogen saat

charge, dan membuat aki jenis ini memerlukan penambahan air secara periodik. [7]

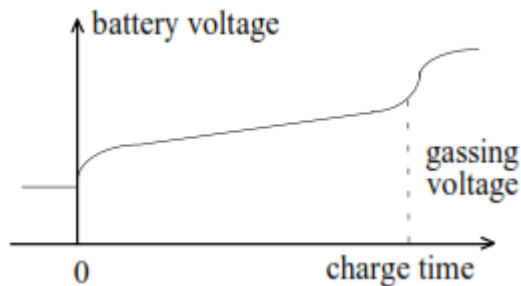
2.1.4 Charging dan Discharging Aki

Dari persamaan reaksi aki yang sudah dibahas sebelumnya, diketahui ketika aki dalam kondisi dipakai kadar asam sulfat didalam aki akan semakin berkurang, beda potensial pada terminalnya pun akan ikut berkurang. Disisi lain, beda potensial pada terminal akan semakin meningkat pada saat kondisi *charge*. Pada gambar 2.9 dapat dilihat profil aki pada saat *discharge* oleh beban dengan arus yang konstan.



Gambar 2. 9 Kurva Beda Potensial pada Aki Berbanding Discharge [6]

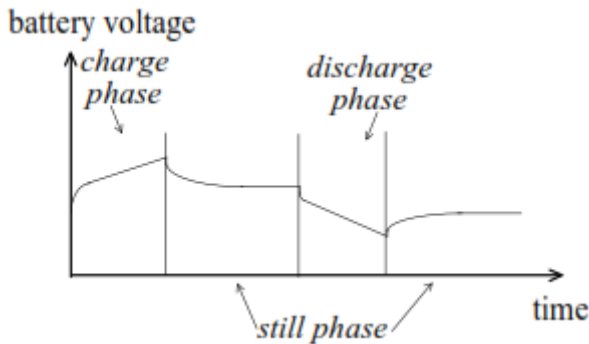
Seperti yang diilustrasikan pada kurva, lompatan awal pada beda potensial menunjukkan adanya impedansi baterai. Lalu, beda potensial akan berkurang secara tetap selama periode *discharge*. Ini menunjukkan penurunan beda potensial pada aki dipengaruhi juga besarnya beban *discharge*. Di akhir masa *discharge*, beda potensial aki akan turun secara drastis, hal ini dikarenakan konsentrasi dari asam sulfat pada elektrolit sudah sangat rendah.



Gambar 2. 10 Kurva Beda Potensial Aki dalam Kondisi *Charge* dengan Arus Konstan [6]

Ketika dalam kondisi *charge* impedansi yang sama mempengaruhi lompatan beda potensial di awal sambungan sumber listrik. Sama halnya pada saat kondisi *discharge*, besar arus yang masuk mempengaruhi besar kurva beda potensial. Gambar 2.10 menunjukkan kurva beda potensial dalam kondisi arus konstan pada saat *charge* aki. Dari kurva beda potensial berbanding waktu *charge* ini dapat dilihat adanya hubungan antara beda potensial aki dengan besarnya energi yang dapat disimpan olehnya. Kenaikan beda potensial pada akhir waktu *charge* menunjukkan adanya *gassing*, ini adalah kondisi dimana aki akan melepaskan sejumlah gas sebagai hasil dari elektrolisis air. Aki yang diisi melewati masa ini akan merusak aki itu sendiri.

Ion pada elektrolit bergerak karena adanya difusi, perbedaan konsentrasi antara zat pelarut dengan zat terlarut. Karena difusi ini terjadi dengan lambat maka lompatan beda potensial pada kondisi *discharge* atau *charge* tidak bisa menghilang, kecuali didiamkan dalam jangka waktu tertentu. Gambar 2.11 menunjukkan pemulihan aki setelah terjadi beda potensial berlebih baik dalam kondisi *discharge* maupun *charge*. [6]



Gambar 2. 11 Kurva Beda Potensial dan Waktu yang Dibutuhkan dalam pemulihan Aki [6]

2.1.5 Senyawa *Lead* yang Terlibat dalam Produksi Aki

- *Lead Oxide* (PbO)

Senyawa ini memiliki dua bentuk *polymorphic*: *tetragonal* ($\beta\text{-PbO}$) dan *orthorhombic* ($\alpha\text{-PbO}$). *Lead oxide* membentuk *lead hydroxides*, $3\text{PbO}\cdot\text{H}_2\text{O}$, dan $5\text{PbO}\cdot\text{H}_2\text{O}$. *Lead oxide* terhidrasi membentuk $\text{Pb}(\text{OH})_2$. Dalam industry baterai, *lead oxide* yang didapatkan dengan proses *partial thermal oxidation* pada *lead* disebut *leady oxide* (LO), yang mengandung diantara 73-85% PbO , sisanya adalah *non-oxidized lead*. Unsur utama dari *leady oxide* adalah tet- PbO , sementara kehadiran ort- PbO hanya 5-6%. *Leady oxide* digunakan dalam proses persiapan pasta di proses produksi aki. *Ball mill* merupakan metode yang digunakan untuk membentuk PbO .

- *Lead Sulfate* (PbSO_4)

Pada temperatur ruangan, senyawa ini biasanya *orthorhombic*, namun dalam suhu yang tinggi akan memiliki bentuk kristal kubik. Tingkat terlarutnya dalam larutan sulfat tergantung pada konsentrasi dari H_2SO_4 . Senyawa ini terbentuk saat proses *charge* dan *discharge* pada aki, dan dapat bereaksi dengan PbO untuk membentuk *basic lead sulfat*.

- *Monobasic lead sulfate*, $\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ (1BS)

Basic lead sulfat ini terbentuk saat proses *mixing* PbO dengan H_2SO_4 . *Monobasic lead sulfate* juga terbentuk saat proses perendaman aki dalam periode *formation* pada aki. 1BS mudah terlarut dalam air, namun lebih mudah terlarut dalam larutan H_2SO_4 .

- *Tribasic lead sulfate*, $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (3BS)

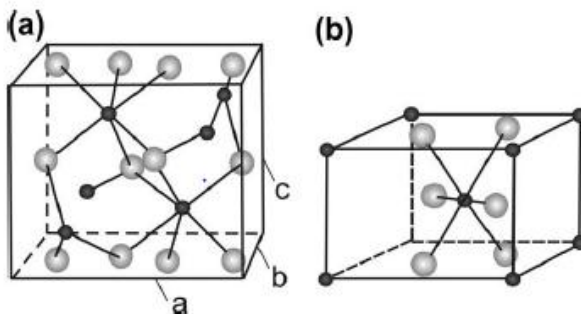
Senyawa ini berbentuk kristal prisma dengan panjang 1-4 μm dan 0.2-0.8 μm melintang dengan *density* 6.5 g cm^{-3} . 3BS dibentuk ketika *leady oxide* dicampur dengan larutan asam sulfat (diatas 8 % wt $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{PbO}$) dan temperature dibawah 70°C .

- *Tertabasic lead sulfate*, $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ (4BS)

Terdiri dari kristal berbentuk prisma dengan panjang 10-100 μm dan diameter 3-15 μm . 4BS terbentuk ketika *leady oxide* dicampur dengan larutan H_2SO_4 , $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{PbO} < 6 \text{ \% wt}$, dan pada temperature diatas 75°C . Struktur massa aktif yang terbentuk dari 4BS memiliki *cycle life* yang panjang.

- *Lead dioxide* PbO_2

Memiliki dua struktur *polymorphic*: *orthorhombic* ($\alpha\text{-PbO}_2$) dan *tetragonal* ($\beta\text{-PbO}_2$). Gambar 2.12 menunjukkan *unit cell* dari $\alpha\text{-PbO}_2$ dan $\beta\text{-PbO}_2$.



Gambar 2. 12 *Unit cell* (a) $\alpha\text{-PbO}_2$ (b) $\beta\text{-PbO}_2$

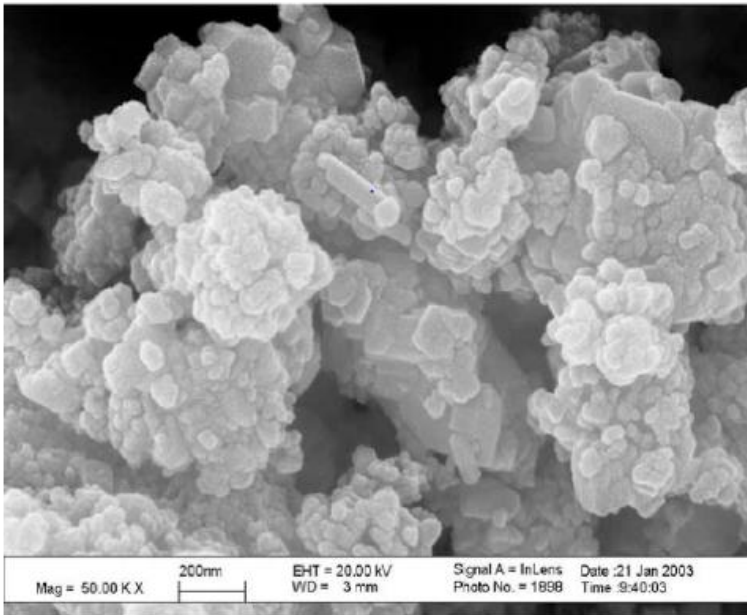
Kristal α -PbO₂ memiliki *lattice axes*:
 $a = 4.938 \text{ \AA}$; $b = 5.939 \text{ \AA}$; $c = 5.486 \text{ \AA}$

Kristal β -PbO₂ memiliki *lattice axes*:
 $a = 4.945 \text{ \AA}$; $b = 3.378 \text{ \AA}$

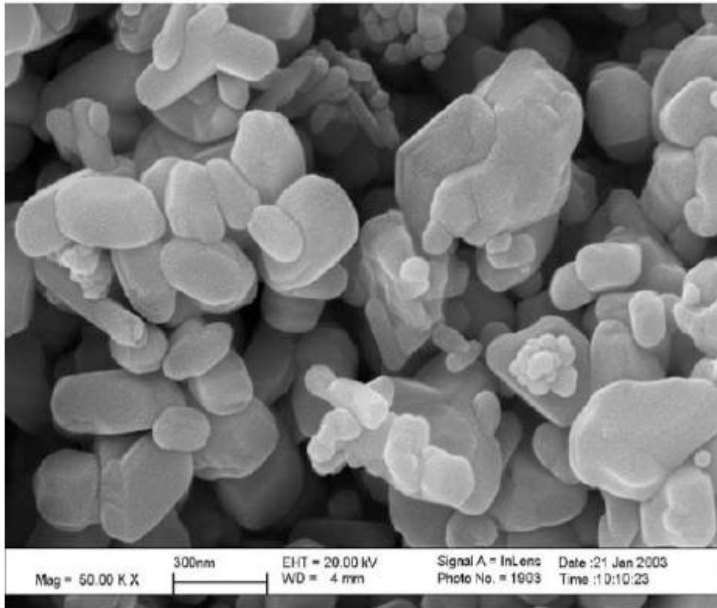
Proses manufaktur pada plat aki, pada dasarnya merupakan proses oksidasi 3BS atau 4BS dan PbO menjadi α -PbO₂ dan β -PbO₂. [9]

2.1.6 Positive Active Mass Degradation

Positive active mass degradation (Degradasi Massa Aktif Positif) terjadi ketika partikel PbO₂ mulai kehilangan daya tarik antar partikelnya, atau pada *grid* nya. Hal tersebut menyebabkan terlepasnya partikel PbO₂ membuat partikel tersebut tidak bereaksi pada kondisi *discharge* atau *charge* aki. Proses ini diketahui juga dengan nama “*softening*” dan “*shedding*” pada pmasa aktif positif.



(a)



(b)

Gambar 2. 13 Massa Aktif Positif menggunakan SEM dimana: (a) aki baru (α dan β), (b) setelah discharge berulang-ulang (β saja) [6]

Prinsip terjadinya *softening* pada PbO_2 adalah terjadinya peningkatan volume pada massa aktif dimana membuat volume PbSO_4 meningkat juga saat proses *discharge* aki, dan kembali ke PbO_2 saat aki di *charge*. Proses ini menyebabkan perubahan ikatan struktur antara partikel PbO_2 , dan menyebabkan perubahan gumpalan ikatan antar partikel PbO_2 terlepas menjadi satu kristal partikel PbO_2 yang kehilangan daya Tarik antar partikel atau dengan *grid* nya. Perubahan pada massa aktif positif dari campuran kristal α - PbO_2 dan β - PbO_2 saat aki masih baru menjadi hanya β - PbO_2 saja saat aki sudah mengalami *discharge* berulang kali, dapat dilihat menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) seperti pada gambar 2.13. [6]

Seiring terjadinya proses *softening* dan hilangnya daya tarik antar partikel PbO₂, getaran pada kendaraan juga mempercepat terjadinya degradasi pada massa aktif positif. Efek dari degradasi massa aktif positif ini adalah berkurangnya daya hantar listrik pada PbO₂, hal ini terjadi karena berkurangnya kapasitas aki di daerah terjadinya degradasi massa aktif positif dikarenakan massa aktif yang sudah terdegradasi tidak mampu membentuk reaksi elektrokimia. [4]

2.1.7 Investigasi Kerusakan (*Failure Investigation*)

Analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mempertimbangkan faktor-faktor situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut. Hasil yang diharapkan nantinya adalah dapat mengetahui penyebab kegagalan atau kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Menemukan penyebab utama kegagalan komponen.
2. Menghindari kegagalan atau kerusakan yang sama di masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan yang telah diketahui.
3. Sebagai bahan laporan kegagalan produk kepada pembuat atau produsen komponen tersebut.
4. Sebagai langkah awal untuk memodifikasi komponen tersebut.
5. Sebagai pertimbangan untuk menentukan jadwal pemeliharaan dilakukan.

Investigasi kegagalan atau kerusakan menggunakan metoda *Root Cause Failure Analysis* akan mempermudah dalam menemukan penyebab dan menanggulangi permasalahan yang terjadi. Adapun tahapan atau langkah utama dalam melakukan analisis kegagalan tersebut yaitu :

1. *Gather and organize data.*
2. *Review current performance.*
3. *Describe performances trends.*
4. *Prioritize performance concerns.*

5. *Identify root cause.*
6. *Identify conclusion and action steps.*
7. *Solution.*

2.1.8 Process Analysis, Mapping, dan Flowcharts

Process analysis, mapping, dan flowcharts merupakan *tools* dari metode *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini berpacu pada proses yang dikelompokkan dalam bentuk diagram proses. Tujuan dari *tools* ini adalah untuk mengetahui secara jelas penyebab dari kegagalan atau kerusakan komponen.

2.1.9 Why Analysis

Why analysis merupakan *tools* dari metoda *Root Cause Failure Analysis*. *Tools* ini adalah teknik grafik yang mengandung sebuah penjabaran secara skematik dari kombinasi kejadian-kejadian dalam sebuah sistem. Dalam *tools* ini dibutuhkan analisis secara kritis dengan selalu menanyakan kenapa (*why*) untuk suatu permasalahan, agar dapat mengkombinasikan sebuah sistem dan mencari akar permasalahan yang terjadi.

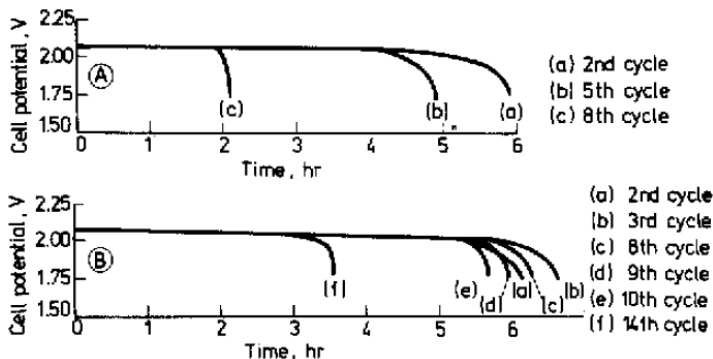
2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya mengenai degradasi masa aktif positif pernah dilakukan oleh D. Pavlov di *Central Laboratory of Electrochemical Power Sources, Bulgarian Academy of Sciences* pada tahun 1992. Penelitian tersebut berjudul “*Premature Capacity Loss (PCL) of The Positive Lead-Acid Battery Plate*” [3]. Pada penelitian tersebut diketahui factor-faktor yang menyebabkan terjadinya PCL adalah:

1. Kurangnya zat aditif campuran senyawa pada *grid* positif, seperti *antimony* dan *tin*.
2. Tingginya tingkat pemakaian pada massa aktif positif.
3. Kurangnya tekanan pada plat positif dalam *cell*.
4. Tidak ada batas kapasitas dari H_2SO_4 didalam *cell*.
5. Rendahnya massa jenis dari massa aktif.

Hasil penelitian Pavlov yang berhubungan dengan penelitian campuran senyawa pada plat aki adalah penambahan campuran zat aditif pada *grid*, dan rendahnya massa jenis dari massa aktif.

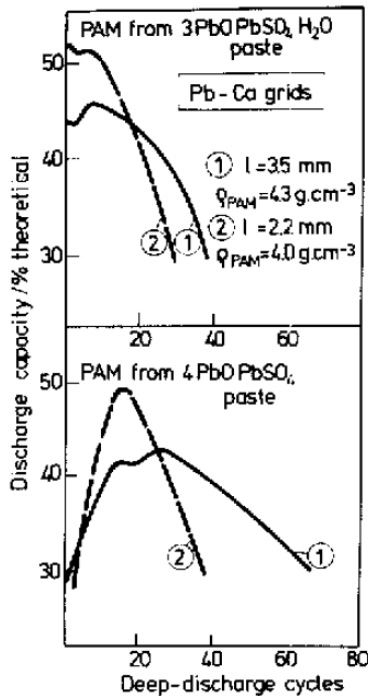
Dalam penambahan zat aditif pada *grid*, penambahan antimoni dan kalsium akan mempengaruhi jumlah siklus umur aki. Antimoni memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap PCL. Dalam penelitian Pavlov, terbukti bahwa terdapat penurunan yang signifikan terhadap siklus umur aki apabila mengurangi jumlah campuran antimony pada *grid* dari 6% menjadi 1%. Penelitian tersebut dilakukan dengan nilai Sb dibawah 1 wt%. gambar 2.14 menunjukkan kurva *discharge* untuk aki dengan grid Pb-Ca. Terlihat umur aki tersebut sangat pendek dibandingkan dengan *grid* Pb-Ca yang sudah dilapisi dengan antimony atau bisa disebut juga Pb-Sb.



Gambar 2. 14 Kurva Beda Potensial Aki terhadap Waktu Pemakaian berdasarkan Jumlah Siklus Pemakaian (atas) Pb-Ca *grid* (bawah) Pb-Sb *grid* [3]

Sementara pengaruh dari massa jenis pada massa aktif dapat dilihat pada gambar 2.15. Pada penelitian tersebut ditemukan siklus hidup aki dipengaruhi campuran senyawa kimia pada pasta massa aktif nya dan tebal dari plat nya. Gambar 2.14 menunjukkan perubahan kapasitas dalam siklus plat aki dengan grid Pb-Ca yang terbentuk dari pasta $3\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan pasta $4\text{PbO} \cdot \text{PbSO}_4$ plat

dengan ketebalan dan massa jenis yang lebih besar memiliki siklus hidup yang lebih besar, tetapi kapasitas lebih kecil. Kurva (1) menunjukkan ketebalan *grid* 3.5 mm, massa jenis pasta 4.3 g cm^{-3} . Kurva (2) menunjukkan ketebalan plat 2.2 mm dan massa jenis pasta 4.0 g cm^{-3} . [3]



Gambar 2. 15 Perubahan Kapasitas pada Plat Positif dengan pasta $3\text{PbO.PbSO}_4.\text{H}_2\text{O}$ dan pasta 4PbO.PbSO_4 [3]

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah yang dijadikan sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini. Langkah-langkah tersebut diawali dengan studi lapangan mengenai permasalahan yang diteliti, kemudian dilakukan pengumpulan data-data yang mendukung, melakukan studi literatur, melakukan investigasi kerusakan yang terjadi, lalu menganalisa data dan mendiskusikan penyebab kegagalan yang kemudian dapat ditarik kesimpulan dan saran dari hasil penelitian ini. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 3.1.

3.2 Studi Lapangan dan Identifikasi Permasalahan yang Ada

Tahap ini dilakukan penulis untuk mengetahui dan mendapatkan data-data awal dari kondisi aktual yang terjadi, serta mempelajari permasalahan yang ada di lapangan dan dapat dijadikan topik Tugas Akhir. Tahap ini menyangkut produksi aki di PT. Indobatt yang digunakan sebagai objek penelitian. Hal yang menjadi dasar dari identifikasi masalah adalah permasalahan degradasi massa aktif positif pada plat aki PT. Indobatt.

3.3 Pengumpulan Data Historis Aki PT. Indobatt

Tahap ini adalah mengumpulkan data-data historis aki PT. Indobatt yang ada di lapangan, untuk menunjang analisis yang akan dilakukan penulis. Seluruh data-data diperoleh dari lab *Quality Control* PT. Indobatt. Data-data tersebut yaitu:

1. Data historis penyebab kerusakan aki.
2. Data historis komposisi senyawa kimia pada proses persiapan pasta aki PT. Indobatt.

3.4 Studi Literatur

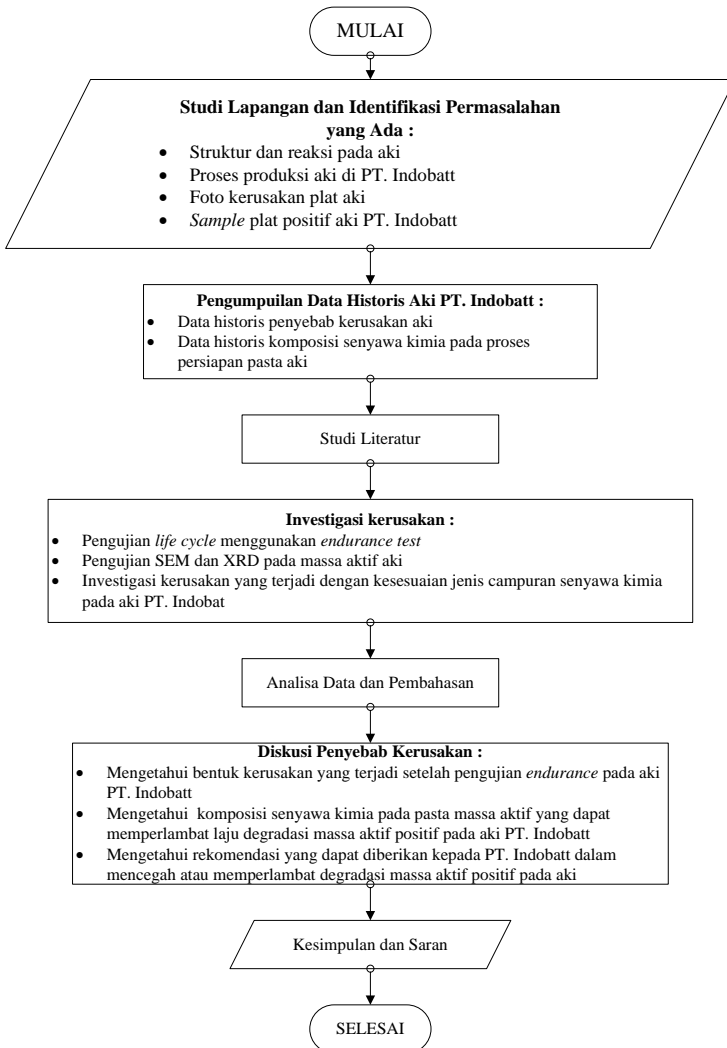
Studi literatur merupakan proses ulasan terhadap buku dan jurnal yang mengandung dalam memberikan informasi tentang faktor-faktor yang terkait dengan kerusakan yang sejenis. Literatur

utama yang dijadikan pedoman penulis berasal dari jurnal-jurnal terhadap penelitian sejenis dan buku-buku referensi yang bersumber dari perusahaan PT. Indobatt. Pada tahap ini akan didapatkan referensi literatur untuk mendukung pemecahan permasalahan yang akan dianalisa.

3.5 Investigasi Kerusakan

Studi literatur yang sebelumnya sudah dilakukan akan dijadikan pedoman untuk menginvestigasikan permasalahan yang akan dianalisa sehingga mendapatkan hasil yang akurat. Investigasi yang akan dilakukan yaitu:

1. Pengujian *life cycle* menggunakan uji *endurance* pada aki PT. Indobatt.
2. Investigasi kerusakan yang terjadi dengan kesesuaian jenis campuran senyawa kimia pada aki PT. Indobatt.
3. Pengujian SEM dan XRD pada pasta plat positif aki PT. Indobatt.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Scanning Electron Microscope* (SEM)
2. *X-Ray Defraction* (XRD)
3. UBT Digatron
4. *Penggaris*
5. Jangka sorong
6. Kamera
7. Kikir

Spesimen uji yang dilakukan untuk pengujian SEM dan XRD adalah pasta dari plat aki positif PT. Indobatt dengan jenis *grid* CA yang telah melalui proses *mixing* (Gambar 3.2). Untuk melakukan uji SEM dan XRD, plat tersebut akan dipisahkan antara *grid* dengan pasta nya dengan cara dikikis.



Gambar 3. 2 Plat CA Aki Positif Setelah Proses *Mixing* aki PT. Indobatt

3.5.2 Pengujian SEM

Untuk mengetahui perubahan morfologi permukaan dari massa aktif pada plat positif diperlukan uji SEM. Pengujian SEM akan dilakukan di Laboratorium Karakterisasi Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Spesifikasi dan gambar peralatan uji SEM ditunjukkan pada gambar 3.3 berikut.

Spesifikasi:

Nama Alat : *Scanning Electron Microscope*
Merek : CARL ZEISS
Tipe : EVO MA10
No Seri : EVO10-06-09
Asal Negara : Inggris
Perolehan : Tahun 2010



Gambar 3. 3 Alat Uji SEM

Berikut ini tahapan dalam pengujian SEM.

1. Spesimen dibuat dengan luas permukaan 1cm^2 .
2. Spesimen dibersihkan dengan menggunakan *blower*.
3. Dilakukan *coating* pada spesimen dengan menggunakan alat *sputter coater carbon*. Proses *coating* dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas dari spesimen.
4. Nyalakan SEM.
5. Bersihkan *chamber* SEM dengan mengalirkan gas nitrogen dengan tekanan minimal 0,5 bar.
6. Masukkan spesimen kedalam *chamber* SEM.
7. *Chamber* SEM di-*vacuum*.
8. Lakukan pengujian dengan mengatur pembesaran *microscope*.
9. Ambil gambar dari data spesimen.

3.5.3 Pengujian XRD

Untuk mengetahui fasa baru yang terbentuk dan struktur kristal dari massa aktif pada plat aki dilakukan uji XRD. Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Pusat Penelitian Geologi Bandung. Spesifikasi dan gambar peralatan uji XRD ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.

Spesifikasi:

Nama Alat : *X-Ray Diffractometer*

Merek : PANalytical

Tipe : X'Pert PRO

Berikut tahapan dalam pengujian XRD.

1. Persiapkan spesimen uji dalam bentuk serbuk dari massa aktif pada plat aki positif dan negatif.
2. Nyalakan XRD dan computer.
3. Atur tegangan sebesar 40KV dan arus 30MA.
4. Masukkan spesimen kedalam *sample stage* pada mesin XRD.
5. Lakukan pengukuran dan ambil data.



Gambar 3. 4 Alat Uji XRD

3.5.4 Pengujian *Endurance*

Uji *endurance* ini menggunakan UBT Digatron dilakukan dengan menggunakan standar SAE J240. Parameter yang di kontrol adalah voltase, arus, waktu, dan suhu. Peralatan UBT Digatron ditunjukkan pada gambar 3.5.

Spesifikasi :

Nama Alat : Universal Battery Tester

Merek : Digatron

No Seri : UBT 100-12-6



Gambar 3. 5 UBT Digatron

Berikut ini tahapan dalam pengujian *endurance* menggunakan SAE J240:

1. Persiapkan spesimen.
2. Diuji didalam bak air dengan suhu $75^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$.
3. Tingkat air pada bak sama dengan atau lebih besar dari 75% total tinggi dari kontainer aki atau 12 mm dari sisi terminal aki.

4. *Discharge* selama 4 min pada arus $25\text{ A} \pm 0.1\text{ A}$, dan *charge* selama 10 min pada arus $25\text{ A} \pm 0.1\text{ A}$ dengan maksimal voltase $14.8\text{ V} \pm 0.03\text{ V}$.
5. *Cycle* dilakukan secara kontinyu sampai 100 *cycle*, dengan delay pergantian dari kondisi *charge* ke *discharge* kurang dari 10 s.
6. Aki diberikan kondisi *open circuit* selama 68-72 jam dengan suhu air di dalam bak $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. Setelah dilakukan *open circuit* seperti pada poin 6, aki di *discharge* dengan arus yang sama dengan *cold cranking rate* (CCA) dalam ampere hingga 7.2 V atau selama 30 detik.
8. Pengujian selesai ketika voltase aki berada dibawah 7.2 V dalam 30 s, sebanyak dua kali berturut-turut pada periode pengujian 100-110 jam.

3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Tahap ini dilakukan penulis untuk menganalisa atas semua data yang telah didapatkan. Berdasarkan data-data tersebut kemudian diberikan pembahasan yang mendukung terkait tujuan penelitian.

3.7 Diskusi Penyebab Kerusakan

Dari keseluruhan yang telah dilakukan dapat didiskusikan hal-hal apa saja yang sekiranya menjadi penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif pada plat aki, agar dapat mengetahui cara menanganinya. Hasil diskusi tersebut nantinya akan menjawab permasalahan sebagai berikut:

1. Mengetahui bentuk kerusakan yang terjadi setelah pengujian *endurance* pada aki PT. Indobatt.
2. Mengetahui komposisi senyawa kimia pada pasta massa aktif yang dapat memperlambat laju degradasi massa aktif positif pada aki.
3. Mengetahui rekomendasi yang dapat diberikan kepada PT. Indobatt agar dapat mencegah atau memperlambat terjadinya degradasi massa aktif positif pada aki.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian Tugas Akhir ini. Setelah permasalahan dianalisa, maka akan dapat menjelaskan fenomena dan mekanisme terjadinya kerusakan pada aki akibat degradasi massa aktif positif berdasarkan data yang diperoleh. Berdasarkan data tersebut pula akan diperoleh solusi yang paling baik dan bisa dijadikan sebagai kesimpulan agar dapat dijadikan pertimbangan untuk PT. Indobatt dalam menanggulangi atau menghindari kasus kerusakan yang serupa.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai kemungkinan penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif di PT. Indobatt serta cara untuk menanggulangnya. Analisis penyebab kerusakan dilakukan dengan mengacu kepada kondisi operasional, histori, foto kerusakan, dan informasi penunjang lainnya yang didapatkan dari pihak PT. Indobatt. Setelah itu dilakukan hipotesis dan pengujian untuk memperoleh data yang dapat membantu untuk menemukan akar penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif.

4.1 *History Report* dan Persiapan Pasta di PT. Indobatt

Data-data yang didapatkan, sehingga menjadi dasar acuan atau referensi dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif, adalah sebagai berikut:

- 1) Foto-foto degradasi massa aktif positif
- 2) Data komplain konsumen

4.1.1 Foto-foto Degradasi Massa Aktif Positif

Foto-foto degradasi massa aktif positif diperoleh dari pihak laboratorium PT. Indobatt.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Degradasi Massa Aktif Positif pada Aki Tipe (a) NS60S NEO (b) NS40Z NGS

Gambar 4.1 menunjukkan terjadinya degradasi massa aktif positif. Massa aktif positif terjadi karena adanya peningkatan volume pada massa aktif dimana membuat volume PbSO_4 meningkat juga saat proses *discharge* aki, dan kembali ke PbO_2 saat aki di *charge*. Proses ini menyebabkan perubahan ikatan struktur antara partikel PbO_2 , dan menyebabkan perubahan gumpalan ikatan antar partikel PbO_2 terlepas menjadi satu kristal partikel PbO_2 yang kehilangan daya tarik antar partikel atau dengan *grid* nya.

4.1.2 Data Komplain Konsumen

Degradasi massa aktif positif dapat terjadi lebih cepat dari waktu perkiraan umur aki, fenomena ini yang disebut dengan *Premature Capacity Loss* (PCL). Akibat adanya PCL ini aki yang sudah digunakan oleh konsumen tidak dapat berfungsi dengan baik, sehingga aki dikembalikan ke PT. Indobatt untuk di teliti kembali penyebab terjadinya PCL tersebut agar dapat menjadi evaluasi dan dapat meningkatkan kualitas produksi aki PT. Indobatt.

Adapun contoh data komplain aki yang diakibatkan oleh degradasi massa aktif positif seperti pada gambar 4.2.

Tgl.	26 Desember 2016							DATA SERVICE			I	II	III
Agan / Geral	JAGO AKI MEER KALIJUDAN							Tanggal	3-9-2016		14-11-2016	18-12-2016	
Sig / Kode customer	SIG-1609037-0001							Kilometer	33434		38141	42403	
Nama Costumer	AFI							Volt	12.66		12.97	12.42	
Alamat	KALIJUDAN TARJUNA R168							CCA	372		408	424	
Merk Kendaraan	TOYOTA AVANZA Tahun : 2015							V.Stater	11.58		10.82	10.24	
No Garansi	780382470							Load Off	14.15		14.16	14.03	
Type Aki	NS60 NEO							Load ON	13.89		13.32	13.9	
Tgl Produksi	140716							Sistem Kelistrikan	baik		BAK	BAK	
Kode Produksi	200565							Iii	V		V	V	
Keluhan (Kronologi/Gejala)	MOBIL TIDAK BISA STATER							Teknisi	ARICK		ARICK	DIMAS	
								DATA SERVICE		IV	V	VI	
								Tanggal	26-12-2016				
Kondisi Visual Accu	Bak	Pole	Plat	Elektrolit	Separator			Kilometer	44037				
	BAK	BAK	PLAY NOMER 1 PASTA RONTOK	BJ RENDAH PADA CELL NOMER 1	BAK			Volt					
								CCA					
Volt :	10.53							V.Stater					
Volt Intercell	0.66	1.87	2.04	2.07	2.11	2.03	-0.54	Load Off					
BJ	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		Load ON					
Load	tidak di load di karenakan tegangan di bawah standar untuk di load							Sistem Kelistrikan					
Analisa Keadaan Awal	PLAT RONTOK PADA CELL NOMER 1							Iii					
								Teknisi					
Tindak Lanjut	DI CHARGE DAN SETELAH DI DIAMKAN SEMALAM												
Volt :	10.34							Kesimpulan	CACAT PRODUKSI				
Volt Intersel	0.63	1.8	2.07	2.1	2.12	2.14	-0.64						
BD	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25		Sebab Kejadian	PASTA PADA CELL NOMER 1 RONTOK				
Load													
Keputusan	DI BELAH							Asal masalah	PROSES PRODUKSI				

Gambar 4. 2 Form Komplain Kerusakan Aki 26 Desember 2016



Gambar 4. 3 Aki NS60 NEO

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terjadi komplain atas kerusakan aki mobil yang menyebabkan mobil tidak bisa dihidupkan. Data tersebut menunjukkan kerusakan pada aki NS60 NEO (gambar 4.3) yang di produksi pada tanggal 14 Juli 2016 dan digunakan oleh mobil Toyota Avanza selama 4 bulan. Dari data tersebut didapatkan kerusakan aki disebabkan oleh rontoknya pasta pada *cell* 1 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Degradasi Massa Aktif pada Plat Positif Aki NS60 NEO

4.1.3 Persiapan Pasta di PT. Indobatt

Tujuan dasar dari persiapan pasta untuk plat positif (PbO_2) dan plat negatif (Pb) pada aki adalah untuk memproduksi partikel yang sudah ditentukan komposisi dan jenis nya. Partikel ini adalah bentuk dasar dari elemen pada pasta yang mana setelah melalui proses *pasting*, *curing* pada plat (partikel bersatu membentuk gumpalan massa), dan *formation* (gumpalan massa di konversi secara elektrokimia menjadi massa aktif). Dalam membentuk pasta tersebut, PT. Indobatt menggunakan standar proses *mixing* yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Standar Proses Mixer

	Pasta Positif
H ₂ SO ₄ /LO (% <i>wt</i>)	10
Air (Kg)	132
Asam Sulfat (Kg)	106
Temperatur Puncak (°C)	65

4.2 Posibilitas Penyebab Kegagalan

Degradasi massa aktif positif dapat menyebabkan penurunan performa aki, dimana umur aki menjadi tidak sesuai dengan ekspektasi awal, dan akan merusak plat positif. Dalam mengidentifikasi penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif, berdasarkan hasil diskusi dengan pihak PT. Indobatt dan studi literatur ada beberapa kemungkinan penyebab terjadinya degradasi massa aktif positif tersebut.

1. Kandungan Pb terlalu tinggi. Kandungan yang Pb masih terlalu tinggi saat proses *curing* akan mempersulit proses berikutnya yaitu *formation*. Ketika proses *formation* berlangsung aka ada kemungkinan plat melengkung dan mengubah luas permukaan kristal yang melekat pada kristal lainnya pada pasta di plat tersebut, sehingga pasta nya akan mudah terdegradasi.
2. *Density* pasta terlalu rendah. Hal tersebut akan menyebabkan reaksi pada saat proses *curing* tidak berlangsung sempurna, yang akan menyebabkan bertumbuhnya ukuran kristal, dan kandungan Pb masih terlalu tinggi.
3. Struktur kristal dari massa aktif mayoritas mengandung *Tribasic Lead Sulfate*, 3PbO.PbSO₄.H₂O (3BS). 3BS terbentuk ketika PbO dicampur dengan H₂SO₄ saat proses persiapan pasta. Dimana struktur kristal 3BS ini tidak sebaik struktur kristal 4BS dalam mendistribusikan ion

H₂SO₄ dan H₂O, hal tersebut akan mempengaruhi *life cycle* aki yang kurang maksimal.

4.3 Analisis Properti Pasta Aki PT. Indobatt

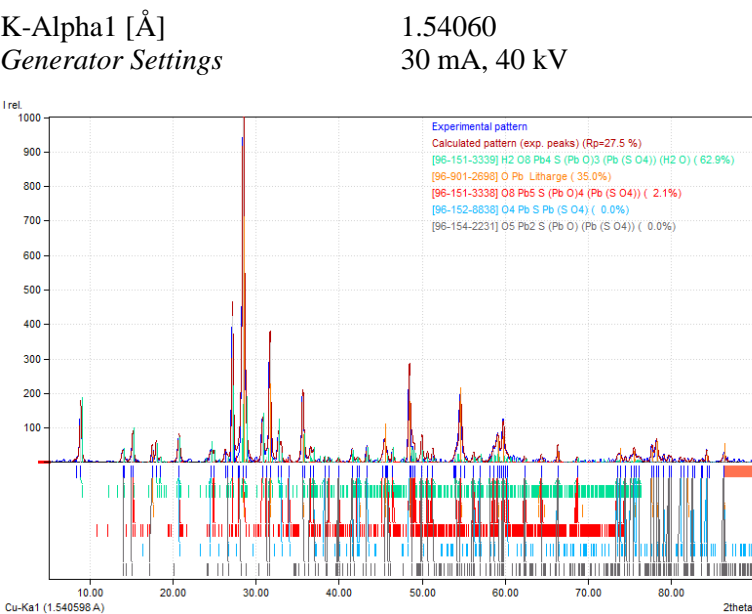
Pasta yang sudah diproduksi oleh PT. Indobatt akan diteliti kembali struktur kristalnya, kapasitas, serta *life cycle* nya, sehingga dilakukan pengujian sebagai berikut:

1. *X-Ray Diffractometer* (XRD). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan struktur kristal dari pasta pada plat aki positif.
2. *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan morfologi permukaan dari massa aktif pada plat positif.
3. *Endurance Test*. Pengujian ini dilakukan untuk mensimulasikan keadaan aki pada saat digunakan di kendaraan bermotor dalam temperatur tinggi dan mengetahui *life cycle* dari aki tersebut.

4.3.1 Pengujian XRD

Pengujian XRD pada pasta plat aki positif yang telah melalui proses *mixing* dilakukan dengan parameter-parameter sebagai berikut:

<i>Scan Axis</i>	Gonio
<i>Start Position</i> [°2Th.]	5.0167
<i>End Position</i> [°2Th.]	89.9587
<i>Step Size</i> [°2Th.]	0.0330
<i>Scan Step Time</i> [s]	4.8100
<i>Scan Type</i>	<i>Continuous</i>
<i>PSD Mode</i>	<i>Scanning</i>
<i>PSD Length</i> [°2Th.]	2.13
<i>Offset</i> [°2Th.]	0.0000
<i>Divergence Slit Type</i>	<i>Fixed</i>
<i>Divergence Slit Size</i> [°]	0.9570
<i>Specimen Length</i> [mm]	10.00
<i>Measurement Temperature</i> [°C]	25.00
<i>Anode Material</i>	Cu



Gambar 4. 5 *X-Ray Diffraction Pattern* Pasta setelah *Mixing*

Pada gambar 4.5 dapat dilihat *X-Ray Diffraction Pattern* dari pasta aki setelah proses *mixing*. Hasil XRD tersebut dianalisa menggunakan *software* “MATCH” untuk mengetahui fasa kristal dari pasta tersebut.

Tabel 4. 2 *Peak List*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]
8.9769	250.03	0.4752	9.84307	15.26	0.5702
14.0575	64.05	0.4752	6.29497	3.91	0.5702
15.2745	139.31	0.5544	5.79605	8.50	0.6653
17.9759	76.25	0.9504	4.93066	4.65	1.1405
20.8766	136.48	0.5544	4.25165	8.33	0.6653
24.8859	81.21	0.7128	3.57501	4.96	0.8554

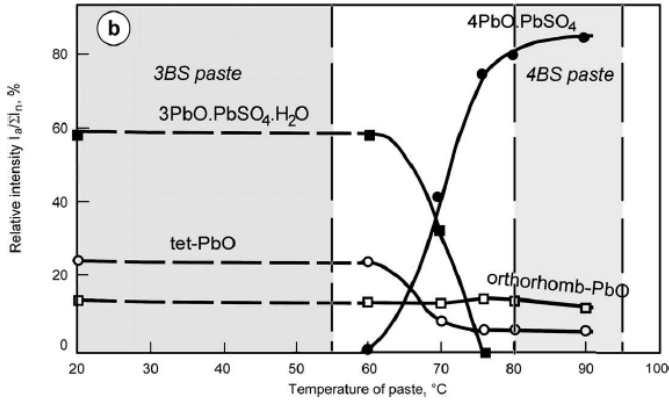
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM [°2Th.]	d- spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Tip width [°2Th.]
27.2286	574.21	0.5544	3.27251	35.04	0.6653
28.5587	1638.56	0.6336	3.12305	100.00	0.7603
30.9229	223.38	0.4752	2.88946	13.63	0.5702
31.7631	541.80	0.5544	2.81491	33.07	0.6653
33.0195	175.48	0.6336	2.71062	10.71	0.7603
34.0206	27.62	0.5544	2.63311	1.69	0.6653
35.8475	347.12	0.5544	2.50299	21.18	0.6653
36.8961	82.12	0.4752	2.43423	5.01	0.5702
41.7118	68.84	0.4752	2.16365	4.20	0.5702
43.4463	78.09	0.5544	2.08120	4.77	0.6653
45.7797	137.37	0.5544	1.98040	8.38	0.6653
46.7252	63.78	0.3960	1.94251	3.89	0.4752
47.8399	21.69	0.6336	1.89982	1.32	0.7603
48.5400	375.98	0.4752	1.87404	22.95	0.5702
50.0422	69.32	0.4752	1.82125	4.23	0.5702
54.7423	364.88	0.5544	1.67546	22.27	0.6653
56.3269	49.32	0.4752	1.63203	3.01	0.5702
59.2694	159.84	0.3960	1.55783	9.75	0.4752
59.9340	205.37	0.4752	1.54214	12.53	0.5702
64.5458	28.17	0.9504	1.44264	1.72	1.1405
66.6350	64.65	0.4752	1.40238	3.95	0.5702
73.9757	52.78	0.6336	1.28032	3.22	0.7603
75.7877	61.70	0.4752	1.25415	3.77	0.5702
78.4667	101.68	0.4752	1.21790	6.21	0.5702
84.5779	47.77	0.4752	1.14480	2.92	0.5702
86.5858	45.67	0.6336	1.12333	2.79	0.7603

Tabel 4.2 menunjukkan *peak list* yang dapat dilihat dari hasil *x-ray pattern* pada gambar 4.5. Berdasarkan hasil uji XRD dapat ditentukan fasa struktur kristal pada pasta positif setelah proses *mixing* yang ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Fasa Kristal pada Pasta Positif setelah Proses *Mixing*

<i>Relative Intensity (%)</i>	<i>Name</i>	<i>Formula sum</i>
62.9	(PbO)3 (Pb(SO4)) (H2O) / 3BS	H2 O8 Pb4 S
35.0	PbO Litharge / 1BS	O Pb
2.1	(PbO)4 (Pb (SO4) / 4BS	O8 Pb5 S
0	Pb (SO4)	O4 Pb S
0	(PbO) (Pb (SO4)	O5 Pb2 S

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh D. Pavlov, V. Iliev, dan G. Papazov dengan mempersiapkan pasta yang memiliki 6% wt H₂SO₄ vs LO pada temperatur 20-100 °C. hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6. gambar tersebut menunjukan perubahan komposisi fasa pada temperatur yang berbeda-beda. [10]



Gambar 4. 6 Komposisi Fasa pada Pasta Fungsi Temperatur [9]

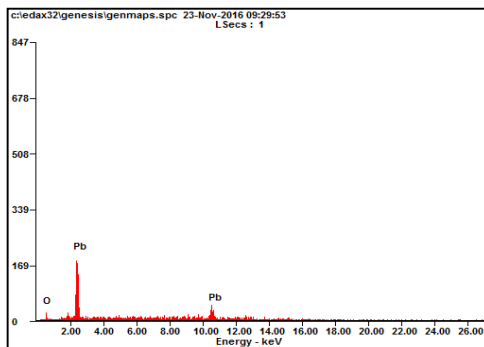
Berdasarkan hasil analisis XRD menggunakan *software* MATCH, terdapat sedikit perbedaan pada intensitas relatif fasa tet-PbO, dan 3BS. Pada gambar 4.6 menunjukan pada suhu 65°C (temperatur puncak yang digunakan oleh PT. Indobatt), komposisi

fasa tet-PbO dan 3BS berada pada intensitas relatif kurang lebih 25% dan 59%, sementara hasil pengujian XRD dari pasta yang diproduksi oleh PT. Indobatt menunjukkan intensitas relatif kristal tet-PbO dan 3BS sebesar 35% dan 62.9%.

Perbedaan yang cukup besar terdapat pada intensitas relatif kristal 4BS. Pada suhu 65°C, pasta PT. Indobatt memiliki intensitas relative dari kristal 4BS sebesar 2.9%, sementara pengujian yang dilakukan oleh D. Pavlov, V. Iliev, dan G. Papazov menunjukkan kristal 4BS memiliki intensitas relatif sebesar 15-20%. Perbedaan hasil analisis XRD pasta PT. Indobatt dengan penelitian yang dilakukan oleh D. Pavlov, V. Iliev, dan G. Papazov kemungkinan karena adanya perbedaan pada rasio H_2SO_4/LO %wt, dan perbedaan lama waktu *mixing* pasta yang digunakan oleh PT. Indobatt.

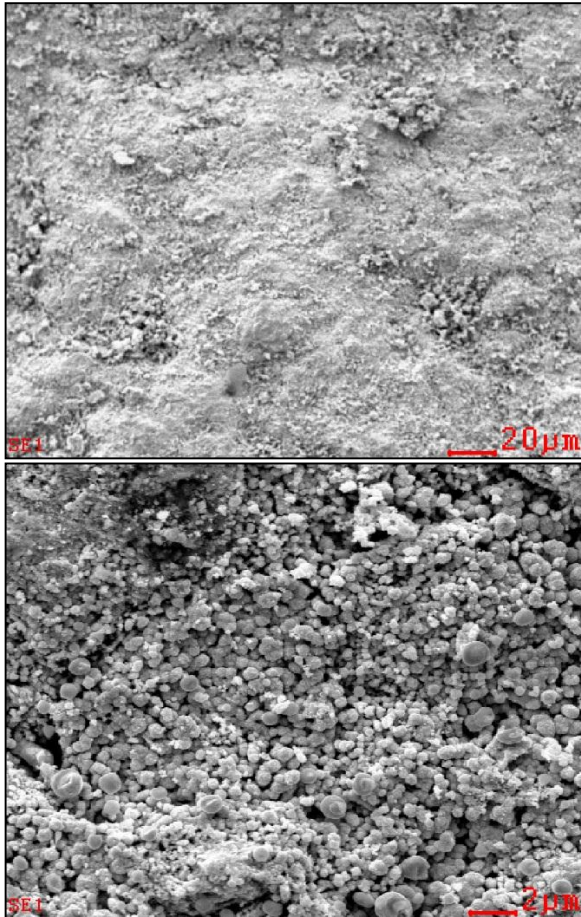
4.3.2 Pengujian SEM

Berdasarkan pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*, didapatkan hasil pengujian berupa morfologi dari massa aktif positif seperti pada gambar 4.7 dan 4.8 pada aki baru hasil produksi yang belum pernah digunakan, dan gambar 4.9 dan 4.10 pada aki yang sudah pernah digunakan.



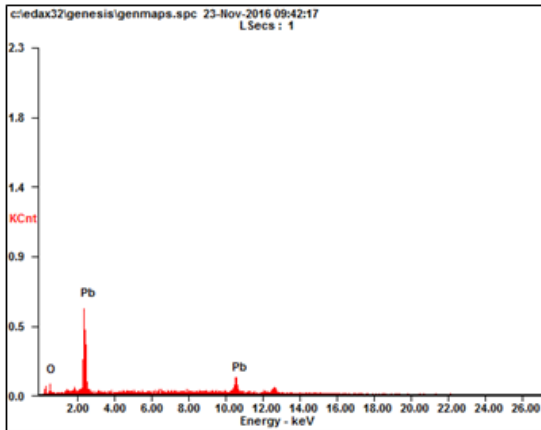
Gambar 4. 7 Hasil SEM-EDAX Massa Aktif Positif Sebelum Aki Digunakan

Gambar 4.7 menunjukkan hasil SEM-EDAX pada massa aktif positif yang belum pernah digunakan sebelumnya atau baru selesai di produksi. Dari gambar 4.7 tersebut diketahui bahwa striktur kristal dari massa aktif positif hanya mengandung kristal PbO_2 .



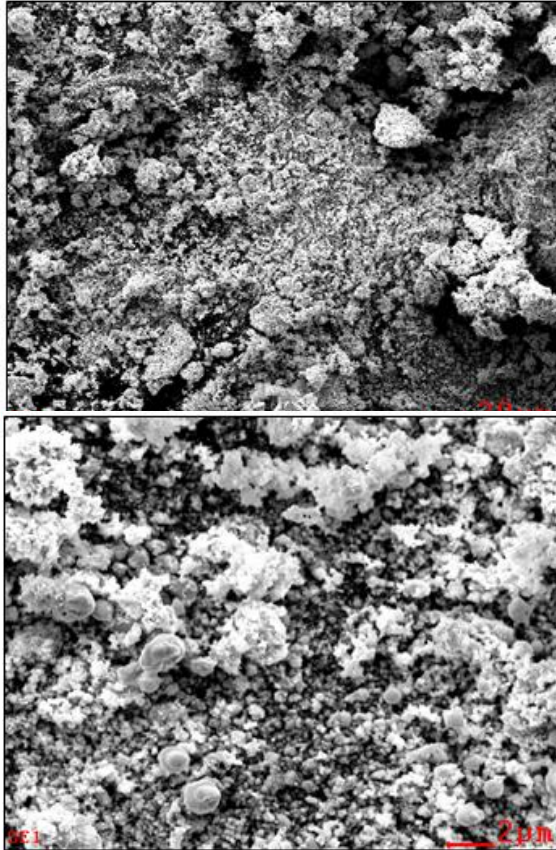
Gambar 4. 8 Hasil Uji SEM Massa Aktif Positif Sebelum Aki Digunakan

Dari gambar 4.8 dpat dilihat bahwa permukaan massa aktif positif pada aki yang masih baru hanya terdapat kristal PbO_2 .



Gambar 4. 9 Hasil SEM-EDAX Massa Aktif Positif Setelah Aki Digunakan Selama 4 Bulan

Berdasarkan gambar 4.9 dapat dilihat bahwa aki yang sudah pernah dipakai juga hanya memiliki kristal PbO_2 saja. Berdasarkan referensi seharusnya terdapat kristal PbSO_4 pada massa aktif aki yang sudah dipakai. Ketidakhadiran dari kristal PbSO_4 ini bisa dikarenakan material tidak memadai untuk diteliti dengan perbesaran yang lebih besar lagi pada saat proses pengujian, atau karena tidak ada kristal PbSO_4 yang tidak kembali menjadi PbO_2 pada saat proses *charging* sehingga tidak meninggalkan bekas kristal PbSO_4 .



Gambar 4. 10 Hasil Uji SEM Massa Aktif Positif Setelah Aki Digunakan Selama 4 Bulan

Pada gambar 4.10 terlihat bahwa kristal PbO_2 pada aki yang sudah dipakai mengalami pertumbuhan ukuran. Hal ini disebabkan oleh proses *charging* dan *discharging* yang berulang-ulang pada saat penggunaan aki. Seperti yang sudah diketahui sebelumnya pada saat proses *discharging* akan menimbulkan

reaksi yang mampu mengubah PbO_2 menjadi PbSO_4 , sementara proses *charging* akan mengembalikan PbSO_4 menjadi PbO_2 .

Diketahui dari beberapa referensi bahwa ukuran kristal dari PbO_2 adalah $24.6 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Sementara ukuran dari kristal PbSO_4 adalah $48.2 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$. Perbedaan ukuran kristal antara PbO_2 dengan PbSO_4 yang hampir dua kali lipat ini membuat kristal PbO_2 tidak secara sempurna kembali ke ukuran semula saat proses *charging* pada aki. Sehingga pertumbuhan ukuran kristal pada massa aktif positif ini akan terus terjadi seiring dilakukannya proses *charging-discharging*, dimana semakin membesarnya ukuran kristal massa aktif positif akan menyebabkan *shedding* pada pasta yang berujung terdegradasinya massa aktif positif. [9]

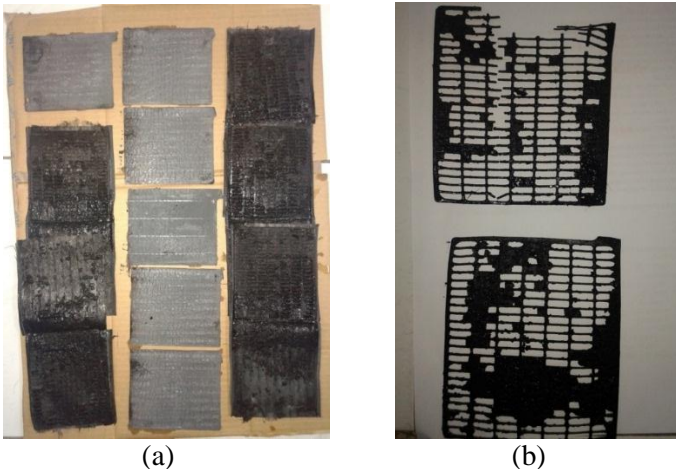
4.3.3 Pengujian *Endurance*

Pengujian *endurance* dilakukan dengan menggunakan standar SAE J240, dimana memiliki tujuan untuk mensimulasikan aki pada saat digunakan pada kendaraan. Berdasarkan SAE J240, kondisi *discharging* dilakukan selama 4 menit dengan arus 25 A, *charging* dilakukan selama 10 menit dengan arus 25 A dan maksimal tegangan 14.8 V. pengujian dilakukan sesuai langkah-langkah yang sudah dijelaskan sebelumnya. Hasil uji *endurance* terhadap aki NS60 NEO #2 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil Penguian *Endurance*

NS60MF #5	W0	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
<i>Date of testing</i>	13.0 7	20.0 7	27.0 7	3.08	10.0 8	17.0 8	24.0 8
<i>Weight</i> (g)	12.8 0	12.6 5	12.5 5	12.4 5	12.4 0	12.3 0	11.6 5
CCA (A)	440	447	443	443	425	421	291
Volt <i>Verification</i>	-	9.13	9.27	9.17	9.03	9.15	5.32

Berdasarkan tabel 4.3, aki dapat bertahan sampai unit ke-6. Dimana satu unit adalah satu minggu pengujian yang terdiri dari 428 *cycle* pada aki. Berarti unit ke-6 merupakan minggu ke 6 percobaan dilakukan. Setelah unit 6, aki tidak memenuhi verifikasi voltase untuk melanjutkan pengujian, dimana voltase aki berada dibawah 7.2 V dalam waktu 30 detik. Dari tabel 4.3 dapat dilihat juga aki mengalami penurunan CCA sampai akhirnya aki tidak dapat melanjutkan pengujian. Gambar 4.11 menunjukkan jenis kerusakan pada aki yang menyebabkan penurunan tegangan pada aki tersebut. Dapat dilihat pada gambar 4.11, bahwa kerusakan terjadi pada massa aktif plat positif yang mengalami degradasi.

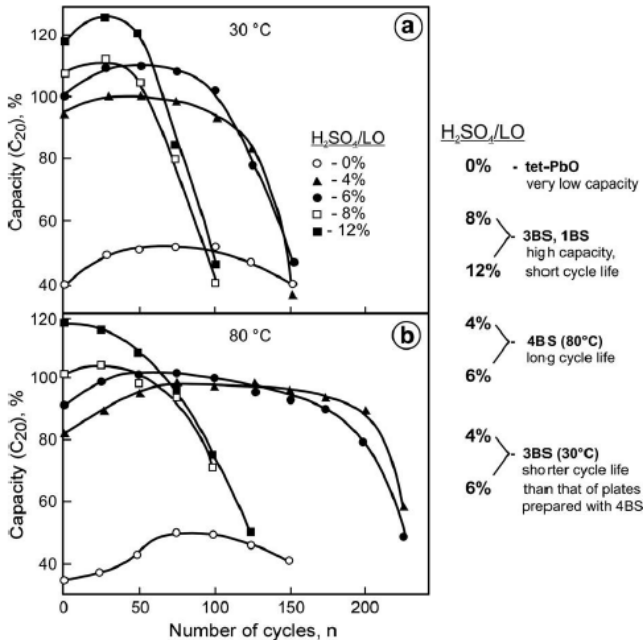


Gambar 4. 11 Bentuk Degradasi Massa Aktif Positif yang Terjadi Setelah Uji *Endurance* (a) Plat Positif dan Plat Negatif (b) Degradasi Massa Aktif pada Plat Positif

Penelitian terhadap *cycle life* pada plat positif sebelumnya pernah dilakukan dengan pasta yang dipersiapkan pada suhu 30°C dan 80°C menggunakan perbedaan rasio pada H₂SO₄/LO. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.12.

Pada pasta yang diproses dengan suhu 30°C dan rasio H₂SO₄/LO 10% wt, kristal yang terbentuk mayoritas 3BS, dan pasta

yang memiliki rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ 8-12% wt mengandung 1BS. pasta yang diproses pada suhu 80°C dengan $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ 4-6% wt, mayoritas memiliki kandungan kristal 4BS. pasta yang diproses dengan rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ 8% wt pada suhu 80°C , memiliki kandungan kristal 3BS, 4BS, dan 1BS, dimana dengan rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ 12% wt, mengandung 3BS dan 1BS.



Gambar 4. 12 Grafik Kapasitas terhadap Jumlah *Cycle* pada Aki
(a) 30°C (b) 80°C [11]

Perbandingan hasil pengujian yang telah dilakukan menunjukkan terdapat perbedaan tingkat *cycle life* pada aki yang dibentuk dengan fasa kristal 4BS dan 3BS. Berdasarkan pengujian XRD, aki yang diproduksi PT. Indobatt memiliki komposisi fasa kristal 3BS. Untuk meningkatkan *cycle life* aki PT. Indobatt, perubahan komposisi fasa pada pasta 3BS menjadi 4BS dapat dilakukan. [11]

4.4 Hasil Analisis

1. Hasil pengujian XRD menunjukkan pasta pada aki yang di produksi oleh PT. Indobatt memiliki fasa 3BS (62.9%), tet-PbO (35%), dan 4BS (2.1%). Hal ini ditentukan dengan melihat hasil garis difraksi yang menunjukkan *peak* pada setiap komposisi fasa kristal yang ada.
2. Berdasarkan hasil XRD pada pasta aki PT. Indobatt, terdapat perbedaan dengan hasil pengujian dari D. Pavlov, V. Iliev, dan G. Papazov. Perbedaan tersebut adalah rendahnya intensitas relatif dari fasa 4BS pada pasta PT. Indobatt. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya perbedaan H_2SO_4 terhadap *leady oxide* (LO) yang digunakan PT. Indobatt.
3. Degradasi massa aktif positif terjadi karena pertumbuhan ukuran kristal pada massa aktif tersebut. Pertumbuhan kristal massa aktif dapat terjadi dikarenakan proses *charge* dan *discharging*. Perbedaan ukuran kristal PbO_2 dengan $PbSO_4$, dimana $PbSO_4$ memiliki ukuran yang hampir dua kali lebih besar dibandingkan PbO_2 , menyebabkan kristal PbO_2 tidak sepenuhnya kembali ke ukuran semula saat proses *charging*.
4. Proses persiapan pasta yang dilakukan PT. Indobatt menggunakan temperatur $65^{\circ}C$. Hal ini mengindikasikan terbentuknya sejumlah besar kristal tet-PbO dan 3BS pada proses persiapan pasta. Sementara kristal 4BS hanya dapat dibentuk pada temperatur yang tinggi.

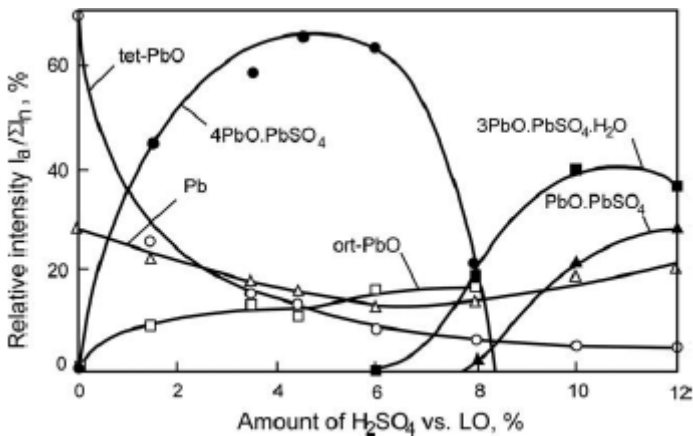
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

SOLUSI HASIL PENELITIAN

5.1 Meningkatkan Rasio Perbandingan H_2SO_4 dengan *Leady Oxide* (%wt)

Pengujian telah dilakukan oleh D. Pavlov dan G. Papazov pada tahun 1976 yang mempersiapkan pasta pada suhu 80°C . Komponen yang digunakan adalah *leady oxide*, air, dan larutan H_2SO_4 dengan *density* 1.40. kandungan dari H_2SO_4 dari 0% sampai dengan 12% *weight vs leady oxide*. Jumlah H_2SO_4 dan air disesuaikan agar pasta memiliki *density* 4.00 g cm^{-3} . Waktu *mixing* selama 40 menit. Untuk melengkapi pengujian tersebut, dilakukan uji XRD. Gambar 5.1 menunjukkan hasil pengujian tersebut. Gambar tersebut mneggambarakan komposisi kristal pasta terhadap fungsi kandungan H_2SO_4 , ditunjukkan dengan perubahan intensitas relatif dari garis difraksi pada fasa yang berbeda. [12]



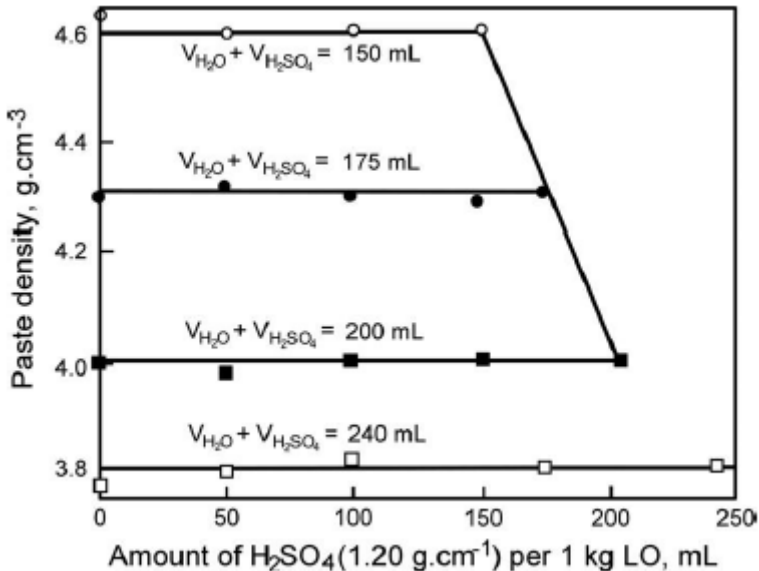
Gambar 5. 1 Hubungan Antara Intensitas Relatif dari Garis Difraksi pada Fasa Kristal yang Berbeda Terhadap rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ [12]

Ketika kandungan dari H_2SO_4 diatas 8 % wt (*vs* LO), produk yang dihasilkan memiliki bentuk dasar dari 4BS. Maksimal kandungan 4BS dicapai saat pasta di persiapkan dengan kandungan H_2SO_4 berada diantara 5 dan 6% wt (*vs* LO). Ketika kandungan H_2SO_4 berada diatas 8% wt (*vs* LO) mayoritas kandungan pasta adalah 3BS dan 1BS.

Dalam melakukan persiapan pasta, PT. Indobatt rasio perbandingan antara H_2SO_4 dengan LO sebesar 10%. Berdasarkan hasil pengujian XRD, pasta yang diproduksi oleh PT. Indobatt memiliki struktur kristal tet-PbO (35%), 3BS (62.9%), dan 4BS (2.1%). Berdasarkan gambar 5.1, terdapat perbedaan antara hasil pengujian pasta yang diproduksi oleh PT. Indobatt dengan penelitian yang dilakukan oleh D. Pavlov dan G. Papazov. Perbedaan tersebut terjadi dikarenakan PT. Indobatt mempersiapkan pasta dengan menggunakan temperatur 65 °C dan waktu *mixing* selama 30 menit. Dalam rangka membentuk fasa kristal 4BS pada pasta., perlu diterapkannya proses persiapan pasta dengan kandungan H_2SO_4 berada diantara 5 dan 6% wt (*vs* LO) dan menggunakan temperatur 80 °C dalam proses produksi aki di PT. Indobatt.

5.2 Meningkatkan *Density* Pasta Berdasarkan Jumlah Kandungan Air

Density pasta adalah berat dibagi volume dari pasta aki. Biasanya pasta yang digunakan pada plat positif memiliki *density* antara 3.90 dan 4.40 g cm⁻³ dan untuk pasta negatif antara 4.10 dan 4.50 cm⁻³ [9]. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya bahwa komposisi fasa kristal pada pasta bergantung kepada rasio antara asam sulfat dengan *leady oxide* pada saat proses persiapan pasta. Pasta dengan kuantitas tertentu dari komponen cairan, dan variabel dari jumlah kandungan H_2SO_4 , dipersiapkan untuk menentukan perbedaan fasa terhadap *density* pasta. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh D. Pavlov dan G. Papazov, total volume dari zat cair ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) diatur secara konstan dengan variasi volume dari larutan H_2SO_4 ($d = 1.20 \text{ cm}^3$) dan H_2O per 1 kg LO [11]. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Density Pasta vs Jumlah Kandungan H_2SO_4 per kg Leady Oxide [11]

Data pada gambar 5.2 menunjukkan bahwa *density* pasta tidak dipengaruhi oleh proporsi perbedaan fasa (tet-PbO, 3PbO.PbSO₄.H₂O, dan orthorhomb-PbO) pada pasta, tetapi dipengaruhi oleh proporsi antara fase dari zat cair dan zat padat pada pasta. Perubahan *density* pasta memiliki sedikit pengaruh terhadap performa kapasitas, namun memiliki pengaruh yang besar terhadap *cycle life* dari aki. Dengan bertambahnya *density* pada pasta, semakin bertambah juga *cycle life* pada aki, terutama pada pasta yang memiliki rasio H_2SO_4/LO yang rendah [11].

Dalam melakukan persiapan pasta, PT. Indobatt menggunakan jumlah kandungan H_2SO_4 per kg *Leady Oxide* sebesar 100 ml, dengan volume H_2O 132 ml per 1 kg LO dan volume H_2SO_4 106 ml per 1 kg LO. Berdasarkan gambar 5.2, *density* dari pasta yang diproduksi oleh PT. Indobat mendekati 3.8 g cm⁻³. Hal ini menyebabkan pasta yang diproduksi oleh PT. Indobatt tidak

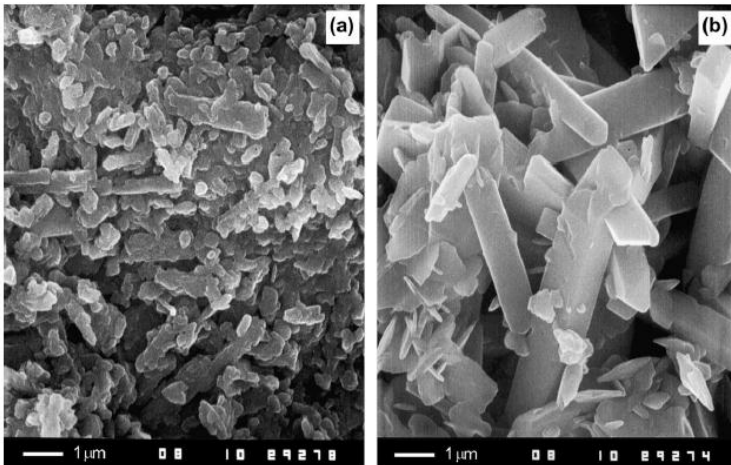
memiliki *life cycle* yang tinggi. Untuk itu proporsi total dari volume air dan asam sulfat perlu turunkan sampai minimal 150 ml.

5.3 Mengubah Komposisi Fasa Kristal pada Pasta Massa Aktif Positif

Penelitian sebelumnya membuktikan partikel pasta yang optimal memiliki struktur *prismatic*, memiliki panjang 3-30 μm , dan diameter 0.4-5 μm . Partikel dengan struktur tersebut memiliki tingkat permukaan massa aktif yang tinggi, memiliki *porosity* massa yang memadai dan memiliki pori-pori yang optimal untuk mendistribusikan ion dari H_2SO_4 dan molekul H_2O ke setiap bagian volume pada plat. *Tribasic lead Sulfat* (3BS) dan *tetra basic lead sulfat* (4BS) memiliki kristal dengan struktur tersebut.

Untuk membentuk partikel 3BS dan 4BS diperlukan sejumlah PbO dan beberapa senyawa hasil hidrasi dari PbO juga dibutuhkan. Dalam mempersiapkan pasta, jumlah kandungan air digunakan untuk memadukan senyawa yang ada. Partikel 3BS dan 4BS terbentuk dari hasil reaksi antara *lead oxide* (mengandung 70-85% PbO) dan larutan H_2SO_4 . Setelah pembentukan dan pertumbuhan inti dari partikel 3BS dan 4BS, pasta akan memiliki *density* dan kandungan uap yang sesuai.

J.J. Lander menemukan formasi pada *tribasic lead sulfat* (3BS) terbentuk saat pasta aki dipersiapkan dengan suhu sampai 60°C . Suhu yang lebih tinggi akan membuat mikrostruktur dari pasta terdiri dari kristal *tetraasic lead sulfat* (4BS) dengan ukuran yang besar. John Pierson mempelajari massa aktif yang diperoleh dari pasta (4BS) memiliki *cycle life* yang lebih lama dibandingkan dengan massa aktif yang diperoleh dari pasta 3BS. Hal tersebut terjadi karena struktur kristal pasta 4BS memiliki volume yang lebih tinggi dibandingkan 3BS. Gambar 5.3 menunjukkan hasil SEM dari partikel 3BS dan 4BS. Dari gambar tersebut dapat dilihat struktur kristal dari 4BS memiliki volume yang lebih besar dari kristal 3BS. Pasta 4BS hanya bisa didapatkan dengan tiga komponen awal, campuran dari 3BS + *orthorhomb-PbO* + *tet-PbO* tanpa zat aktif kapler lainnya, seperti *expander lignosulfanate* [14].



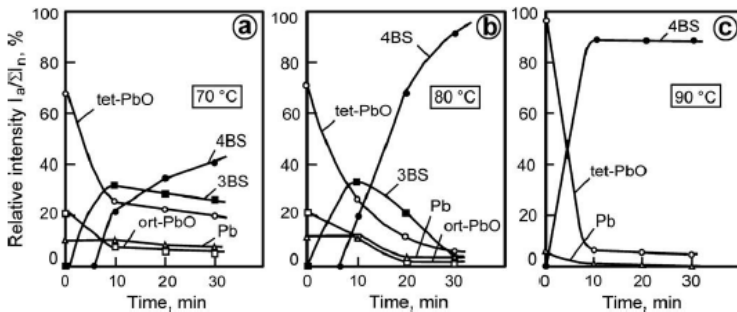
Gambar 5. 3 Hasil SEM (a) Kristal 3BS (b) Kristal 4BS [14]

Seperti sudah diketahui sebelumnya bahwa pasta yang diproduksi oleh PT. Indobatt mayoritas fasa kristalnya 3BS (62.9%). Untuk itu perlu adanya beberapa perubahan dalam proses persiapan pasta, agar pasta yang diproduksi PT. Indobatt memiliki struktur kristal 4BS. Ada beberapa cara dalam membentuk pasta *tetrabasic lead sulfat* (4BS), yang paling sering digunakan dalam industri baterai adalah sebagai berikut [9]:

- a) Berawal dari bubuk *lead oxide* di dalam air, dimana larutan H_2SO_4 ditambahkan dengan penyesuaian proporsi terhadap PbO untuk membentuk 4BS. *Orthorhomb-PbO* digunakan dan temperatur persiapan tersebut sebesar $80^\circ C$.
- b) Dengan mencampurkan *leady oxide* dan larutan H_2SO_4 pada temperature diatas $80^\circ C$ selama minimal 30 menit.
- c) Dengan *curing* pasta 3BS pada temperatur diatas $80^\circ C$ dan menghilangkan uap air didalam tempat *curing* selama 3-5 jam. Proses *curing* memakan waktu 48 sampai 72 jam. Metode ini membentuk kristal 4BS yang besar, namun membutuhkan waktu yang lama.

Berdasarkan cara persiapan pasta, PT. Indobatt memiliki beberapa perbedaan dalam mempersiapkan pasta nya. Yang pertama adalah rasio jumlah kandungan larutan H_2SO_4 %wt terhadap LO. Seperti yang sudah dibahas pada sub bab sebelumnya bahwa rasio larutan H_2SO_4 %wt terhadap LO mempengaruhi hasil dari kandungan fasa pada pasta. Perbedaan berikutnya adalah temperatur saat mempersiapkan pasta.

Pada saat proses persiapan pasta, temperatur memiliki peran yang penting dalam menentukan hasil dari persiapan pasta tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Komposisi Fasa pada Tiga Pasta 4BS (a) 70oC (b) 80oC (c) 90oC [13]

Gambar 5.4 menunjukkan komposisi fasa pada tiga pasta 4BS dengan temperatur yang berbeda-beda, ditentukan dengan analisis XRD terhadap waktu *mixing* pasta. Pasta tersebut memiliki rasio $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{LO}$ 6%wt. Ketika pasta dipersiapkan dengan temperatur 70°C, masih terdapat sejumlah kristal 3BS bahkan sampai 30 menit waktu *mixing*. Berbeda dengan proses menggunakan suhu 90°C, seluruh pasta berubah menjadi kristal 4BS secara sepenuhnya kurang dari 30 menit. Sementara dengan suhu 80°C, perubahan kristal 3BS menjadi 4BS terjadi secara sepenuhnya di menit ke-30. Hal ini mengindikasikan bahwa proses perubahan inti dan pertumbuhan kristal 4BS sangat sensitif

terhadap suhu. Untuk memproduksi kristal 4BS kurang dari 30 menit, dibutuhkan temperature diatas 90°C. [13]

Dalam mempersiapkan pasta, PT. Indobatt menggunakan rasio H_2SO_4/LO sebesar 10%wt, dengan temperatur maksimal 65C. Berdasarkan gambar 5.4, rasio H_2SO_4/LO yang digunkan PT. Indobatt dalam mempersiapkan pastanya menyebabkan terbentuknya sejumlah besar kristal 3BS dan 1BS, didukung dengan temperatur puncak yang digunakan sebesar 65°C.

Beberapa keunggulan aki yang diproduksi dengan plat positif 4BS. Pertama, aki memiliki *life cycle* yang panjang. Kemudian, kontak antara grid dengan massa aktif positif sangat baik, hal ini akan mengurangi terjadinya *premature capacity loss* (PCL). PbO_2 yang dibentuk dari kristal 4BS memiliki massa aktif positif yang secara mekanik lebih stabil, dimana akan menahan massa aktif dari *shedding* dan pertumbuhan ukuran kristal. Walaupun memilki *life cycle* yang lebih panjang dibandingkan aki dengan struktur kristal 3BS, aki dengan kristal 4BS memiliki kekurangan yaitu kapasitas awal tidak sebesar kapasitas awal aki kristal 3BS. hal ini menyebabkan perlu adanya *initial cycles* pada aki untuk mencapai kapasitas yang sesuai.

Dalam menanggulangi hal tersebut, ukuran kristal 4BS dibentuk lebih kecil. Panjang awal kristal 4BS diantara 20 dan 80 μm dengan diameter 8 sampai 15 μm . Ukuran tersebut dikurangi menjadi 15-25 μm dan 3-5 μm dalam panjang dan diameter. Untuk melakukan modifikasi ukuran kristal tersebut, perlu ditambahkan 5% serbuk kristal 4BS saat proses persiapan pasta. Tambahan bubuk tersebut akan berperan sebagai formasi inti dari pembentukan kristal 4BS yang lebih besar. Kristal inti ini akan tumbuh dengan ukuran yang sama saat proses persiapan pasta, dimana akan menghasilkan ukuran kristal yang seragam. Semakin banyak jumlah serbuk yang ditambahkan, akan semakin kecil ukuran kristalnya. Proses ini dapat dicapai dengan menggunakan waktu *mixing* 15-20 menit dan dengan temperatur yang tinggi [9].

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis degradasi massa aktif positif pada plat positif aki PT. Indobatt, berdasarkan studi literatur, analisis data dan, pengujian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengujian XRD menunjukkan pasta pada aki yang di produksi oleh PT. Indobatt memiliki struktur kristal 3BS (62.9%), tet-PbO (35%), dan 4BS (2.1%). Dimana aki dengan pasta yang memiliki struktur kristal 3BS tidak memiliki *life cycle* sebaik aki dengan pasta yang memiliki struktur kristal 4BS. Hal ini disebabkan oleh perbedaan ukuran kristal 3BS, tet-PbO, dan 4BS. Dimana 4BS memiliki struktur kristal yang paling besar diantara ketiganya.
2. Degradasi massa aktif positif terjadi karena terdapat pertumbuhan ukuran kristal pada massa aktif plat positif. Kristal PbO₂ memiliki ukuran yang lebih kecil daripada kristal PbSO₄. Pertumbuhan ukuran kristal massa aktif dapat terjadi dikarenakan PbO₂ tidak sepenuhnya kembali ke ukuran semula saat proses *charging*.
3. Perbandingan rasio H₂SO₄ %wt terhadap *leady oxide* (LO) yang digunakan PT. Indobatt sebesar 10% menyebabkan terbentuknya komposisi fasa pada pasta mengandung kristal 3BS dan 1BS. Untuk membentuk kristal 4BS diperlukan Perbandingan rasio H₂SO₄ %wt terhadap LO diantara 5-6%.
4. Jumlah kandungan air pada proses persiapan pasta mempengaruhi *density* dari pasta tersebut. Plat positif aki memiliki *density* antara 3.90 dan 4.40 g cm⁻³. Dalam mencapai angka *density* pasta yang baik, jumlah volume

H₂O dan H₂SO₄ perlu di turunkan sampai minimal 150 ml per kg LO.

5. Proses persiapan pasta yang dilakukan PT. Indobatt menggunakan temperatur 65°C. Hal ini juga mengindikasikan terbentuknya kristal 3BS dan 1BS pada proses persiapan pasta. Untuk itu temperatur perlu ditingkatkan hingga 80-90°C dalam rangka membentuk fasa kristal 4BS pada pasta.

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada pihak PT. Indobatt adalah sebagai berikut:

1. Agar mengurangi jumlah komplain kerusakan aki yang disebabkan oleh degradasi massa aktif positif, perlu diterapkan formula untuk proses pembuatan plat aki dengan pasta yang memiliki struktur kristal 4BS.
2. Dalam menanggulangi kekurangan yng dimiliki struktur kristal 4BS, perlu ditambahkan 5% serbuk kristal 4BS saat proses persiapan pasta. Tambahan bubuk tersebut akan berperan sebagai formasi inti dari pembentukan kristal 4BS yang lebih besar. Kristal inti ini akan tumbuh dengan ukuran yang sama saat proses persiapan pasta, dimana akan menghasilkan ukuran kristal yang seragam. Semakin banyak jumlah serbuk yang ditambahkan, akan semakin kecil ukuran kristalnya. Proses ini dapat dicapai dengan menggunakan waktu *mixing* 15-20 menit dan dengan temperature yang tinggi.
3. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan kepada produksi pasta positif plat aki yang memiliki fasa kristal 4BS dengan kapasitas awal sesuai standar. Penelitian dilakukan dengan memperhatikan dan membandingkan biaya produksi aki yang memiliki fasa kristal 4BS, dengan biaya produksi aki yang memiliki fasa kristal 3BS pada pasta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Database PT. Indobatt Industri Permai Krian, Jawa Timur
- [2] A.F. Hollenkamp, K.K Constanti, A.M. Huey, M.J. Koop and L. Aputeanu, 1992. *Premature Capacity-Loss Mecanisms in Lead/Acid Batteries*. Australia : CSIRO Division of Mineral Products
- [3] D. Pavlov, 1992. *Premature Capacity Loss (PCL) of the positive lead/acid battery plate: a new concept to describe the phenomenon*. Bulgaria : Bulgarian Academy of Sciences.
- [4] Reutschi, Paul, 2004. *Aging mechanism and service life of lead-acid batteries*. Switzerland : Grandevent
- [5] S. Atlung, 1990. *Degradation of The Positive Plate of The Lead/Acid Battery During Cycling*. Denmark : Lyngby
- [6] Suozzo, Christopher, 2008. *Lead-Acid Battery And State of Health Diagnosis*. Ohio : The Ohio State University
- [7] Lecture : Lead-Acid Batteries. "How Battery Work". 2 November 2016. <http://ecee.colorado.edu/>
- [8] Database Badan Pusat Statistik Indonesia. "Jumlah Pertumbuhan Kendaraan di Indonesia". 10 November 2016. <http://www.bps.go.id/>
- [9] D. Pavlov, 2011. *Lead-Acid Batteries: Science and Technology*. The Great Britain: ELSEVIER
- [10] D. Pavlov, V.Iliev, G. Papazov, 1997. *Annual Report*. Bulgaria: CLEPS
- [11] G. Papazov, D. Pavlov, 1997. *Annual Report*. Bulgaria: CLEPS
- [12] G. Papazov, D. Pavlov, 1976. *Journal Application Electrochemical* 6 page 339.
- [13] S. Ruevski, D. Pavlov, T. Rogachev, 1992. *Annual Report*. Bulgaria: CLEPS
- [14] J.J. Lander, 1948. NRL Report no. C-3262

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Rian Septian Sidiq, dilahirkan di Tasikmalaya 8 September 1994. Merupakan anak kedua dari pasangan Agus Salim dan Lilis Nurhayat. Penulis mengenyam pendidikan di SDN Tunas Harapan 1, SMPN 5 Bandung, dan SMAN 5 Bandung.

Pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS, dengan bidang studi Sistem Rekayasa Industri. Selama menjadi mahasiswa, penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. MultiGann Teknik dan PT. Pertamina, sebelum akhirnya melakukan penelitian tugas akhir di PT. Indobatt Industri Permai.

Penulis aktif dalam kegiatan kemahasiswaan dengan menjadi Staf Badan Semi Otonom *Big Event* HMM 2013-2014, dan Direktur Badan Semi Otonom *Big Event* HMM 2014-2015. Penulis juga mengikuti berbagai pelatihan manajemen diri, kegiatan

(Halaman ini sengaja dikosongkan)